

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



Abschlussbericht des vom  
Bundesministerium für  
Wirtschaft und Technologie  
geförderten Verbundvorhabens  
„eCar-IKT-Systemarchitektur  
für Elektromobilität“

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Executive Summary</b>	2
<b>2</b>	<b>Einleitung</b>	4
2.1	Ziele und Struktur des Berichts	5
2.2	Elektromobilität	6
2.3	IKT-Architektur für Elektrofahrzeuge	8
2.4	Disruption und Wertschöpfungsstrukturen in der Automobilindustrie	10
2.5	Methodik und Vorgehen	13
<b>3</b>	<b>Ist-Analyse 2010</b>	16
3.1	Soziale Bedeutung des Automobils	16
3.2	Aktueller Stellenwert der Automobil- und der IKT-Industrie in Deutschland	16
3.3	IKT im Automobil heute	18
3.4	Wertschöpfungsstruktur	24
3.5	Aktuelle politische Strategien und Maßnahmen im internationalen Vergleich	28
<b>4</b>	<b>IKT-Architektur im Jahr 2030</b>	34
4.1	Auswirkung der gesellschaftlichen Trends auf die IKT-Architektur	34
4.2	Auswirkung der technologischen Trends auf die IKT-Architektur	39
4.3	Benchmark: Vergleich mit anderen Bereichen	45
4.4	Evolution der IKT-Architektur	48
4.5	Merkmale der IKT-Architektur im Jahr 2030	51
<b>5</b>	<b>Fahrzeugszenarien, Wertschöpfungsstrukturen und Geschäftsmodelle</b>	54
5.1	Fahrzeugszenarien von 2020 bis 2030	54
5.2	Veränderungstrends in den Wertschöpfungsstrukturen	58
5.3	Geschäftsmodelle	63
<b>6</b>	<b>Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken des Standorts Deutschland (SWOT-Analyse)</b>	66
6.1	Stärken	66
6.2	Schwächen	68
6.3	Chancen	70
6.4	Risiken	71
<b>7</b>	<b>Ableitung von Handlungsempfehlungen</b>	72
7.1	Empfehlungen an die Politik	74
7.2	Empfehlungen an die Unternehmen	80
7.3	Empfehlungen an Bildung, Forschung und Wissenschaft	83
<b>8</b>	<b>Fazit und Ausblick</b>	86
<b>Appendix A: Zusammenfassung der Ergebnisse des auf Interviews basierenden Dialogprozesses</b>		88
1	Vorgehen	88
2	Ergebnisse der Interviews	88
3	Übersicht über die geführten Interviews	90
<b>Appendix B: Wertschöpfungsstrukturen und Geschäftsmodelle</b>		91
1	Wertschöpfungsketten und Wertschöpfungsnetzwerke	91
1.A	Das Konzept der Wertschöpfung	91
1.B	Wertschöpfung auf der Mikroebene	91
1.C	Wertschöpfung auf der Mesoebene	91
1.D	Dynamik in Wertschöpfungssystemen	93
2	Marktanalyse und Potenzialabschätzung	94
<b>Appendix C: Begriffserklärungen</b>		96
<b>Appendix D: Abbildungsverzeichnis</b>		98
<b>Appendix E: Literaturverzeichnis</b>		99
<b>Impressum</b>		104

KAPITEL 1

# Executive Summary

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-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. Gleichzeitig 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 Innovations-treiber 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 zusam-

mentun, um die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands in einer seiner Kernindustrien zu sichern.

Dieser Bericht ist das Ergebnis des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Forschungsprojekts „eCar-IKT-Systemarchitektur für Elektromobilität“. Er beschreibt die Rolle der IKT-Architektur im Fahrzeug im Kontext der Elektromobilität. Im Verlauf des Berichts werden die wesentlichen gesellschaftlichen und technologischen Treiber untersucht und auf dieser Grundlage Szenarien für Elektrofahrzeuge und die Charakteristika zukünftiger IKT-Architekturen erarbeitet. Auch auf die Veränderungen der Wertschöpfung im Automobilssektor, die sich daraus ergeben, geht der Bericht ein. Auf der Basis aller Resultate werden die Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken untersucht (SWOT-Analyse), die in Handlungsempfehlungen an Politik, Industrie und Wissenschaft münden.



## KAPITEL 2

# Einleitung

Das Auto ist zur Erfolgsgeschichte geworden, weil es in der Lage ist, uns zu bewegen – wohin, wann und mit wem wir wollen, und das auf eine bezahlbare Art und Weise.

Die Automobilindustrie entwickelte sich in den letzten 125 Jahren weitgehend evolutionär, ohne disruptive Brüche: Die meisten Autos haben heute wie damals vier Räder und einen Verbrennungsmotor und werden „manuell“ gesteuert, also von einem Fahrer oder einer Fahrerin. Innovationen werden evolutionär unter Beibehaltung der vorhandenen Fahrzeugkonzepte realisiert, beispielsweise durch Verbesserungen der Verbrennungsmotoren oder durch die Weiterentwicklung der Informations- und Kommunikationstechnik; diese wird etwa um neue Funktionen oder Steuergeräte erweitert, wodurch Komfort und Sicherheit zunehmen. Die Automobilindustrie hat sich in den letzten Jahrzehnten auf diese Weise zu einem der wichtigsten deutschen Industriezweige entwickelt, und sie liefert heute sehr zuverlässige, komfortable und im Markt ausgesprochen erfolgreiche Fahrzeuge.

Es steht außer Frage, dass das Automobil in den kommenden Jahren einem enormen Wandel unterworfen sein wird:

- Fossile Energie wird in absehbarer Zeit knapp, die Preise werden steigen.
- CO<sub>2</sub>-Emissionen müssen deutlich reduziert werden; das erhöht den Druck auf Industrie und Kunden, energieeffiziente Antriebstechniken und erneuerbare Energien zu nutzen.
- In schnell wachsenden Märkten wie China und Indien streben viele Menschen nach bezahlbaren und sicheren Fahrzeugen. Dem steht jedoch eine Ver-

kehrsinfrastruktur entgegen, die schon heute an ihre Grenzen stößt, speziell in wuchernden urbanen Agglomerationen, den sogenannten „Mega-Citys“.

- In den entwickelten Ländern führt der demografische Wandel zu neuen Anforderungen an Fahrzeuge, beispielsweise im Hinblick auf Assistenzsysteme.

Diese Entwicklungen stellen Herausforderungen dar, auf die die deutsche Automobilindustrie möglichst bald reagieren muss. Zu einem Hemmnis droht dabei besonders die Komplexität der IKT-Systeme heutiger Premiumfahrzeuge zu werden; sie erschwert es den Herstellern, neue Funktionalität schnell und vorhandene Funktionalität kostengünstig anzubieten. Produzenten aus Schwellenländern bieten bereits heute kostengünstige Fahrzeuge an und werden die bevorstehenden Technologieumbrüche aggressiv für sich zu nutzen versuchen.



## 2.1 | Ziele und Struktur des Berichts

Der vorliegende Bericht ist das Ergebnis des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten Forschungsvorhabens „eCar-IKT-Systemarchitekturen für Elektromobilität“. Er stellt erstmals die IKT-Architektur im Fahrzeug als heutigen Treiber für Innovationen im Fahrzeug in den Mittelpunkt; auf diese Weise ergänzt er existierende Aktivitäten. Der Bericht macht deutlich, welche Rolle die IKT-Systemarchitektur im Fahrzeug als Innovationstreiber spielt. Auch die Einbettung der Informations- und Kommunikationstechnik in die Umgebung wird dabei betrachtet und ihre Bedeutung für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilindustrie aufgezeigt. Im Einzelnen soll betrachtet werden:

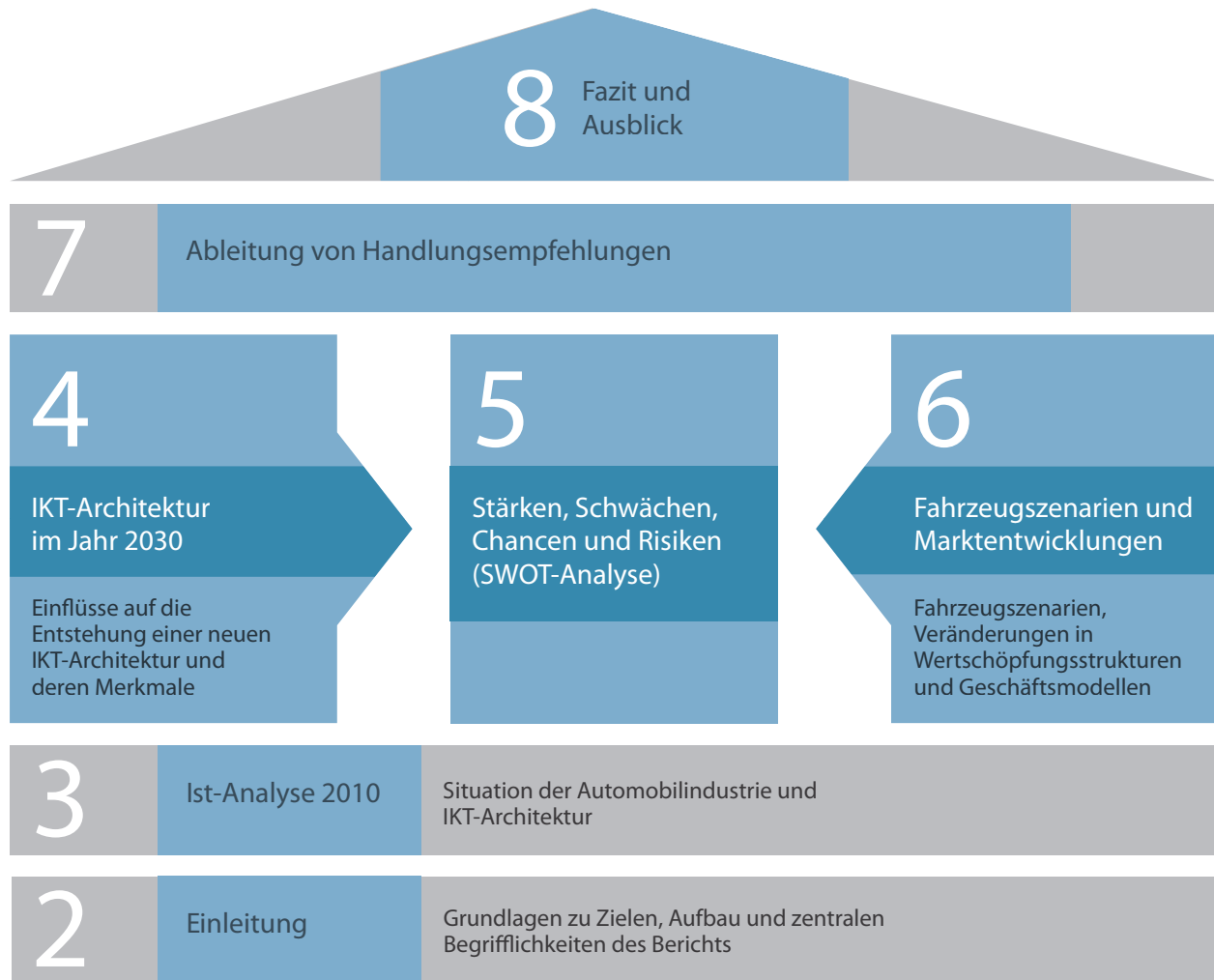
- warum der Wechsel hin zur Elektromobilität mit einem grundlegenden Wandel der eingesetzten Architekturen einhergeht beziehungsweise warum er diesen Wechsel nach sich zieht;
- inwieweit die Einführung von Elektrofahrzeugen neue IKT-Systemarchitekturen fördert, die das bisherige Fahrzeugkonzept verdrängen können;
- welche Charakteristika innovative IKT-Systemarchitekturen aufweisen;
- welche bereits vorhandenen Technologien und Rahmenbedingungen die neuen Architekturen unterstützen und ermöglichen;
- welche Technologien und Rahmenbedingungen zur Einführung neuer Architekturen außerdem benötigt werden;
- in Form welcher Änderungen, Chancen und Hemmnisse sich dieser technologische Wandel auf

Wertschöpfungsnetzwerke, Geschäftsmodelle und den Wettbewerb in der Automobilindustrie sowie langfristig auch darüber hinaus auswirkt;

- wie sich dieser Wandel qualitativ und quantitativ auf die in Deutschland benötigten Kompetenzen und Forschungsinhalte auswirkt und welche forschungspolitischen Anpassungen hierzu erforderlich sind (zum Beispiel ein Ausbau der Forschungseinrichtungen für Elektromobilität);
- im welchem Ausmaß Forschung und Bildung, Gesellschaft, Industrie und Wirtschaft reagieren müssen und welche flankierenden Maßnahmen erforderlich werden, um die Wettbewerbsfähigkeit des Technologie- und Industriestandorts Deutschland zu sichern.

Dieser Bericht will konkrete Szenarien entwickeln und damit die Basis schaffen für einen strukturierten, zielführenden Dialog- und Meinungsbildungsprozess zwischen Wirtschaft, Wissenschaft, Gesellschaft und Politik. Den Aufbau des Berichts zeigt *Abbildung 1*.

**Abbildung 1: Aufbau und Struktur des Berichts**



## 2.2 | Elektromobilität

Elektromobilität ist en vogue, und Fahrzeughersteller versuchen mit Prototypen oder Produkten für Elektroautos diesem Trend zu folgen. International werden hohe Summen für die Entwicklung von Elektrofahrzeugen und der dafür benötigten Basistechnologien aufgewendet. Neue Marktteilnehmer, wie zum Beispiel BYD oder Better Place, versuchen, mit neuen Fahrzeugkonzepten oder Geschäftsmodellen in den Automobilmarkt einzudringen, der heute noch von wenigen OEMs (Original Equipment Manufacturers, Automobilherstellern) beherrscht wird.

Die durchschnittliche Fahrstrecke pro Person und Tag liegt in Deutschland bei weniger als 40 Kilometern, im europäischen Durchschnitt sogar noch etwas darunter. Elektrofahrzeuge sind daher schon ab einer verlässlichen Reichweite von etwa 150 Kilometern eine Alternative zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Die meisten Studien über die Entwicklung des Markts für Personenfahrzeuge kommen deshalb zu dem Schluss, dass bereits mittelfristig mit einer erheblichen Nachfrage nach Elektrofahrzeugen zu rechnen ist. Dabei ist zu beachten, dass verschiedene Studien den Be-

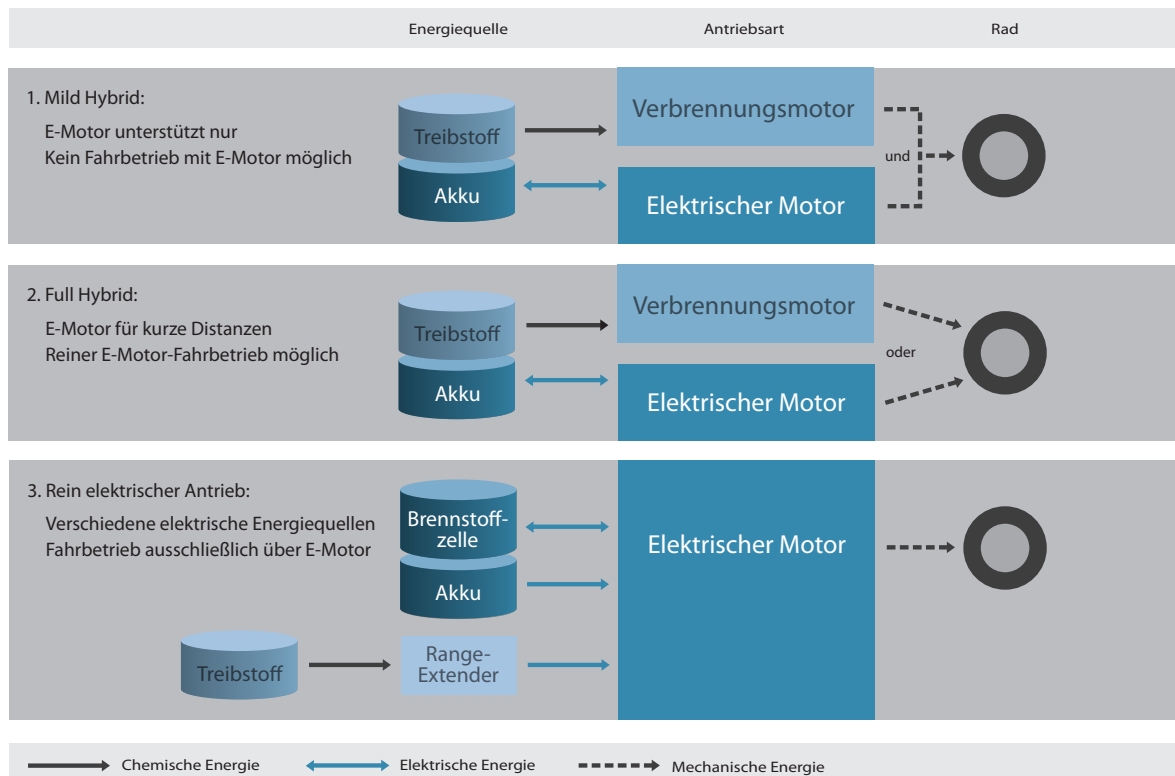
griff der Elektromobilität sehr unterschiedlich verwenden: von rein batterieelektrisch getriebenen Fahrzeugen bis hin zu Mild-Hybridfahrzeugen (siehe *Abbildung 2*). Im Rahmen dieses Berichts liegt der Schwerpunkt auf Fahrzeugen mit rein elektrischen Antrieben. Rein batterieelektrische Fahrzeuge werden nach der Überzeugung von Batterieexperten auf lange Sicht nicht in der Lage sein, zu vertretbaren Kosten genügend Energie für den elektrischen Fahrbetrieb und für zusätzliche Verbraucher an Bord bereitzustellen.<sup>1</sup> Dagegen kann ein elektrischer Antriebsstrang mit Unterstützung durch Nebenaggregate, etwa Range-Extender oder Brennstoffzellen, die Funktionalität eines konventionellen Fahrzeugs abbilden. Es ist wahrscheinlich, dass der Markt für Autos mit Verbrennungsmotor einbrechen wird, sobald Elektrofahrzeuge mit genügender Reichweite, Zuverlässigkeit und Funktionalität in hinreichender Modellvielfalt zur Verfügung stehen. Das Vorbild sind technikhistorische Entwicklungen in anderen Bereichen, zum Beispiel die Ablösung mechanischer durch elektronische Kameras oder leitungsvermittelter Telefontechnik durch das Internet.

## Elektromobilität ist eine disruptive Innovation – für ihre Hersteller wie für ihre Nutzer

Elektromobilität ist eine disruptive Innovation: Sie wird von verschiedenen Gruppen unterschiedlich aufgenommen werden; ihr Wachstum wird deshalb nicht ausschließlich auf den Pfaden verlaufen, die der Automobilbranche historisch vertraut sind. Vielmehr wird Elektromobilität zunächst über neue, begrenzte Kundensegmente in den Markt eintreten. Disruptiv ist die Technologie auch auf der Anbieterseite: Weil die Herstellung einfacher Elektrofahrzeuge weniger Expertenwissen als die herkömmliche Kraftfahrzeugfertigung erfordert – zum Beispiel im Zusammenhang mit der Antriebstechnik –, wird es für Start-up-Unternehmen und Anbieter aus Schwellenländern leichter, in den Markt einzutreten.

Diese Tatsache macht die Elektromobilität für die heutigen Marktführer und Volkswirtschaften zu einer Herausforderung, deren Dimension noch zu wenig begriffen wird und die über die reine Ablösung einer Technologie durch eine andere hinausreicht. Die Elek-

**Abbildung 2: Unterschiedliche Begriffe im Kontext der Elektromobilität**



1) Ergebnis von Experteninterviews mit Vertretern von Hitachi, Panasonic und Sanyo



trifizierung des Antriebs wirkt wie ein trojanisches Pferd: Weil der Antriebsstrang so viel einfacher herzustellen sein wird, lassen sich Systeme einfacher und stärker integrieren. Das gilt sowohl für mechatronische Systeme wie Radnabenmotoren als auch für die gesamte IKT-Architektur im Fahrzeug, die konsequent restrukturiert und vereinfacht werden kann. Das wiederum ebnet den Weg für weitere Innovationen, zum Beispiel den Ersatz von mechanischen und hydraulischen durch elektronische Baukomponenten (X-by-Wire) oder das autonome Fahren („Smart Car“).

Es geht also nicht einfach darum, den traditionellen Verbrennungsmotor durch einen Elektromotor zu ersetzen. Das Ziel ist vielmehr, von alten Erfolgsrezepten Abschied zu nehmen und das Automobil neu zu erfin-

nen: elektrisch angetrieben, elektronisch gesteuert und in ein Mobilitätsnetz eingebunden, das es mit anderen Fahrzeugen und mit der Verkehrsinfrastruktur verbindet („Smart Traffic“). Zu dieser Infrastruktur gehören auch elektrische Ladestationen, die über ein intelligentes Stromnetz („Smart Grid“) aus vorwiegend regenerativen Energien gespeist werden.

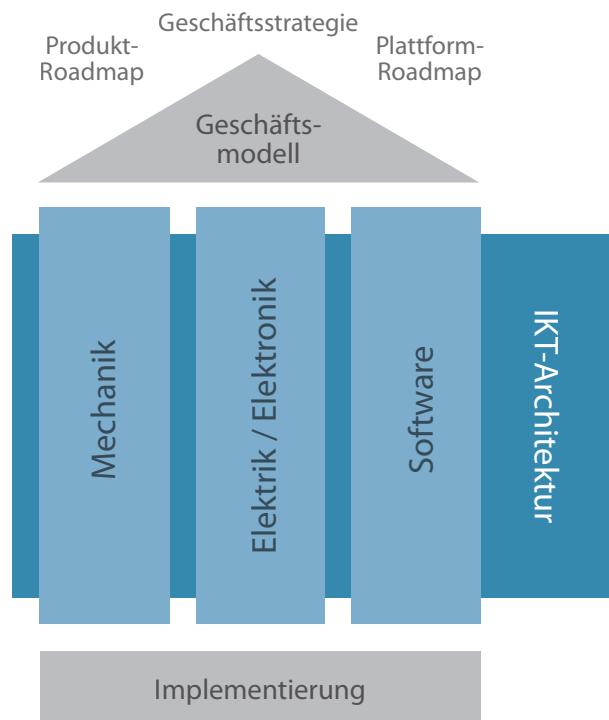
Um dieses Fernziel zu erreichen, bedarf es der Konvergenz und Integration der am weitesten fortgeschrittenen Technologien aus drei Branchen, die bisher zu wenig miteinander zu tun hatten, um sich ohne Mühe verständigen zu können: der Automobil-, der Energie- sowie der IKT-Industrie. Bereits zum Erreichen kurzfristiger Ziele ist deren konstruktive Zusammenarbeit unerlässlich.

## 2.3 | IKT-Architektur für Elektrofahrzeuge

Der IKT kommt dabei eine zentrale Rolle zu. Sie optimiert und integriert vorhandene Funktionen und bildet das Nervensystem moderner Fahrzeuge, das alle elektronischen Komponenten miteinander verbindet. Zu den Aufgaben der IKT gehören die Datenverarbeitung und die Signalisierung der mechatronischen Systeme in der Niedervoltelektronik bei 1–12 Volt ebenso wie die Vernetzung der separaten Ingenieurdomänen Mechanik, Elektrik und Software (siehe *Abbildung 3*). Die Konsequenz: Innovation im Fahrzeug wird vorwiegend durch IKT-Systeme realisiert. Untersuchungen zeigen, dass eingebettete IKT-Systeme bereits heute die Voraussetzung für 90 Prozent aller Innovationen im Fahrzeugbau bilden.<sup>2</sup>

### Die IKT als Nervensystem moderner Fahrzeuge

Die IKT-Architektur liefert Entwurfsstrategien und Konzepte für IKT-Systeme. Zusammen mit den Anforderungen des Geschäftsmodells lässt sich darauf ein konkreter Plan zur Implementierung, zur Umsetzung des IKT-Systems gründen. Die Architektur beschreibt die „fundamentale Organisation eines Systems, bestehend aus seinen Komponenten, ihrer Beziehung zueinander, deren Umgebung sowie den zugrundeliegenden Entwurfsprinzipien“, wie es das



**Abbildung 3: IKT-Architektur als Bauplan eines Vehikels**

2) Study of Worldwide Trends and R&D Programmes in Embedded Systems in View of Maximising the Impact of a Technology Platform in the Area, FAST GmbH, TU München 2005

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) als „Empfohlene Methode zur Beschreibung der Architektur Software-intensiver Systeme“ („Recommended Practice for Architecture Description of Software-Intensive Systems“) definiert.<sup>3</sup>

Wie in der klassischen Gebäudearchitektur greifen bei der IKT-Architektur verschiedene Aspekte ineinander: Mechanik, Elektronik und Software. Diese sind aber nicht unabhängig voneinander, sondern erfüllen erst in ihrem multidisziplinären Zusammenwirken die eigentlichen Fahrzeugfunktionen. Mithilfe der IKT kann zum Beispiel mechanische Stabilität teilweise von softwareregulierten Systemen ersetzt werden: Stabilitätsprogramme für Autos, aber auch aerodynamische Stabilität in der Flugzeugtechnik (Avionik)<sup>4</sup>. Das ermöglicht grundsätzlich neue Funktionen und Fahrzeugkonzepte und senkt die Kosten in der Entwicklung.

Das Ziel, Systeme mit anspruchsvoller, hochwertiger Funktionalität, aber gleichzeitig zu geringeren Kosten zu entwickeln, lässt sich häufig nur durch eine höhere Integration realisieren – und zwar nicht ausschließlich von mechanischen und elektrischen Komponenten. Auch hierfür gibt es Vorlagen: In der Avionik hat die Konsolidierung in Form der Integrated-Modular-Avionics-(IMA)-Architektur diesen Weg aufgezeigt; ein weiteres offensichtliches Beispiel ist die Integration eines Jahrhundertkalenders: In einer mechanischen Uhr geht diese einher mit einem immensen Komplexitätszuwachs; in einer rechnergestützten Uhr ist die Integration dagegen auf der Basis von geeigneter Software leicht und praktisch kostenfrei zu realisieren.

Die heutige Fahrzeugarchitektur ist das Ergebnis eines seit Jahrzehnten andauernden evolutionären Prozesses und damit ein Beispiel für eine „sustaining innovation“<sup>5</sup>. Die daraus resultierende IKT-Architektur orientiert sich an der Struktur des Fahrzeugs und an der Organisationsstruktur der Fahrzeughersteller (Original Equipment Manufacturers, OEMs). Basis der Modularisierung sind einzelne Steuergeräte (ECUs) im Fahrzeug, deren Entwicklung, Produktion und Einkauf lokal optimiert wurde. Als Ergebnis sind in heutigen Fahrzeugen bis zu 80 ECUs sowie eine noch größere Anzahl von Sensoren und Aktoren eingebaut.<sup>6</sup> Dabei wird eine Vielzahl unterschiedlicher Konzepte und Technologien verwendet, deren elektronische Verschaltung einen komplexen und schweren Kabelbaum erfordert.

Gleichzeitig mit der Komplexität der Informations- und Kommunikationstechnik im Auto nimmt auch ihre Bedeutung zu – beides exponentiell und beides getrieben von immer stärkerer Integration von Funktionen. Das ist leicht erklärlich, denn neue Funktionen entstehen kaum noch aus der klassischen Kombination von Sensoren, Aktoren und Software, sondern zunehmend durch intelligente Verknüpfungen und Kommunikation zwischen mehreren Sensoren und Aktoren. Damit werden neue Funktionen aber auch nicht mehr in genau einer Disziplin (Mechanik, Elektronik, IKT) realisiert, sondern sie entstehen aus einer Kombination von Disziplinen. Kurzum: Viele sicherheitsrelevante oder den Fahrkomfort erhöhende Innovationen basieren nicht mehr vorrangig auf Mechanik, sondern auf IKT; Funktionen werden aus den klassischen Ingenieursdisziplinen in die IKT verlagert.

Je komplexer die herkömmlichen IKT-Architekturen werden, desto höher wird der Aufwand für Entwicklung, Integration und Test neuer Funktionen. Grundlegend neue, komplexe und vernetzte Funktionen können heutzutage oft nur zu unverhältnismäßig hohen Kosten integriert werden. Zwar wird diese „Lock-in“-Situation grundsätzlich erkannt und durch Ansätze wie die Automotive Open System Architecture (AUTOSAR)<sup>7</sup> zumindest zum Teil adressiert. Die Autoindustrie scheut heute jedoch noch vor den hohen Investitionen einer Neuentwicklung zurück und sieht die vorhandene Systemkomplexität eher als – nicht unwillkommene – Barriere für neue Marktteilnehmer an. Es gehört aber zum Charakter disruptiver Innovationen, dass diese Einschätzung möglicherweise ein gefährlicher Irrglaube ist.

Im Prinzip könnte man die IKT-Architektur eines Elektrofahrzeugs auch entwickeln, indem man ein klassisches Fahrzeug mit herkömmlicher elektrischer/elektronischer Architektur schrittweise verbesserte. Das wäre jedoch mit hohen Risiken behaftet. Zum einen würden dabei erhebliche Potenziale verschenkt, die über die reinen Energie- und Schadstoffaspekte hinausgehen. Schwerer wiegt allerdings das Risiko, dass neue Marktteilnehmer bei einem evolutionären Ansatz erhebliche Vorteile bei Entwicklungszeit und -kosten versäumen würden. Elektronik durch Software zu ersetzen steigert den Komfort und reduziert Kosten, der Ersatz von Mechanik sowie der Einsatz von Assistenzsystemen reduzieren das Fahrzeuggewicht und steigern damit die Reichweite. Und schließlich: Wenn Fahrzeuge um neue Funktionen ergänzt werden, er-

3) IEEE-SA Standards Board (2000); ähnlich auch in Bass et al. (2003)

4) Airbus A380, Eurofighter und F-117A

5) Christensen (1997), S. xviii und 191f.

6) Fraunhofer (2010)

7) www.autosar.org

weitert sich die Wertschöpfungskette. Insgesamt können neue IKT-Funktionen ein vollständig neues Fahrzeugkonzept ergeben, auf das sich auch neue Geschäftsmodelle gründen lassen.

### Neue Architekturen und Funktionen ändern die Wertschöpfungskette

Eine überarbeitete IKT-Architektur, die auf zukünftige Geschäftsanforderungen ausgelegt ist, hat darüber hinaus große Bedeutung für die Integration von Fahrzeugen in ihre Umgebung. Beispielsweise können zukünftig Fahrzeuge durch IKT-Techniken an das Energieversorgungsnetz angebunden werden und damit selbst aktiv als Speicher und Puffer in der Energiekette fungieren. Ein weiteres Beispiel ist die Optimierung des Verkehrsflusses durch sogenannte „Car2X“-Kommunikation, also die Kommunikation von Fahrzeugen untereinander oder mit der Infrastruktur.

Die herkömmliche IKT-Architektur ist unflexibel. Durch den Übergang zur Elektromobilität besteht sowohl die Chance als auch die Notwendigkeit, die Architektur grundlegend zu überarbeiten und bei der Gelegenheit Optimierungspotenziale zu nutzen.

Ziele müssen dabei sein, Systemkomplexität und damit Entwicklungskosten zu reduzieren, die Integration zu vereinfachen und Entwicklungszyklen zu beschleunigen.

Fahrzeuginnovationen auf die IKT zu verlagern ermöglicht nicht nur neue Funktionen, sondern verändert auch den Entwicklungs- und Wertschöpfungsprozess. Wenn ursprünglich fest verdrahtete Funktionen in Software realisiert werden, sind Erweiterungen möglich, die den Zeitraum bis zur Vermarktbarkeit von Fahrzeugen (time to market) wesentlich verkürzen und nachträgliche Anpassungen erleichtern oder überhaupt erst ermöglichen.

## 2.4 | Disruption und Wertschöpfungsstrukturen in der Automobilindustrie

Welche Konsequenzen legen diese Entwicklungen nahe? Die Antwort liegt auf der Hand: Die Autoindustrie muss ihre gesamte Wertschöpfungsstruktur überdenken und ihre Kernkompetenzen neu definieren; teilweise muss sie diese Kompetenzen überhaupt erst aufbauen. Um das Überleben dieser weltweit führenden Industrie sicherzustellen, müssen sich die Marktteilnehmer bereits kurzfristig auf Szenarien einstellen, die hierzulande heute noch schwer vorstellbar sind, in Schwellenländern jedoch bereits eine starke Dynamik aufweisen: „Die Bedeutung des Verbrennungsmotors und der dazugehörigen Peripherie wie etwa des Getriebes wird Stück für Stück abnehmen und schließlich ganz verschwinden. [...] Das künftige Herz der Autos wird die Hochvoltbatterie und die zugehörige Leistungselektronik sein“, sagt Jens Hadler, Leiter Aggregateentwicklung bei Volkswagen.<sup>8</sup>

Viele Interviewpartner gehen weiter und betonen das disruptive Potenzial der IKT: „Die Deutschen reden über Batterie, die anderen über IKT.“

Derart tief greifende Innovationen können nur mit entsprechenden organisatorischen Veränderungen in neue Herstellungsprozesse umgelenkt werden. Um diese Veränderungen in den weiteren Kapiteln verdeutlichen zu können, werden grundlegende Begriffe in diesem Bericht so verwendet wie im Folgenden beschrieben.<sup>9</sup>

**Wertschöpfung** Im betriebswirtschaftlichen Verständnis ist Wertschöpfung das Ergebnis der wertschaffenden Prozesse in einem Betrieb. Dieses entspricht der „Summe der Roherträge, verringert um Vorleistungen, die zugekauft werden“<sup>10</sup>.

8) Katzensteiner/Rother (2008)

9) Eine ausführlichere Darstellung ist dem Anhang zu entnehmen.

10) Häberle (2008), S. 1364

**Wertschöpfungskette** Die von Michael Porter (1985) eingeführte Wertschöpfungskette definiert ein Unternehmen „als eine Ansammlung voneinander unterscheidbarer, aber miteinander verbundener Produktionsfunktionen“<sup>11</sup>. Insofern definiert Porter eine Wertschöpfungsaktivität als Produktionsfunktion innerhalb eines Unternehmens, die Input in Output umwandelt. Im engen Verständnis beziehen sich Wertschöpfungsketten somit auf einen Betrieb und weisen einen linearen Verlauf auf, in dem die einzelnen Wertschöpfungsstufen aufeinander aufbauen.

**Wertschöpfungssystem/-netzwerk** Erweitert man die Sicht über die Grenzen eines Unternehmens hinaus, gelangt man zur Betrachtung von branchenweiten Wertschöpfungssystemen oder -netzwerken. Im Gegensatz zu Wertschöpfungsketten verlaufen Wertschöpfungssysteme nicht zwangsweise linear. Aus diesem Grund können sie komplexere Strukturen, wie sie etwa die Automobilbranche kennzeichnen, besser abbilden.

**Business Web** Besondere Ausprägungen dieser Wertschöpfungsnetzwerke werden als Business Webs bezeichnet, die von Zerdick et al. (2001) wie folgt definiert werden:

Unter Business Webs werden Gruppen von Unternehmen verstanden, die unabhängig voneinander wertschöpfende Teilleistungen erstellen und sich gegenseitig ergänzen. Der Markterfolg dieser Unternehmen ist aneinander gekoppelt, da der Nachfrager erst durch das im gesamten Wertschöpfungsnetz entstandene Systemprodukt ganzheitliche Problemlösungen erhält, die sich gegenüber Konkurrenzprodukten durchsetzen müssen.<sup>12</sup>

Unternehmen können in Business Webs zwei Rollen einnehmen: „Shaper“ im Sinne von „Gestalter“ bilden den Kern eines Business Web; sie kontrollieren ein oder mehrere Kernsubsysteme sowie zentrale Standards und Schnittstellen. „Adapter“ dagegen erstellen komplementäre Produkte oder Dienstleistungen nach den Vorgaben der Shapers.<sup>13</sup>

Dieses Konzept erweist sich als wertvoll für die Analyse der Wertschöpfungsstruktur im Kontext dieses Forschungsvorhabens: In der traditionellen Rollenverteilung agieren die Fahrzeughersteller (OEMs) als Shaper eines Wertschöpfungsnetzwerkes, da sie sowohl durch ihre Spezifikationen den Standard des Automobils setzen – etwa für Zulieferer oder Zubehörhersteller – als auch über das Vertriebsnetz den Kontakt zu den Kun-

den kontrollieren. Die Informations- und Kommunikationstechnik verändert dieses Szenario: Die Bedeutung der IKT für die Fahrzeugentwicklung und -herstellung wächst, und die dort dominanten Standards samt Business Webs und Shapern werden in den Automobilbereich importiert. Auf diese Weise entsteht ein polyzentrisches Netzwerk mit mehreren Shapern und veränderten Machtverhältnissen.

**Value Net** Mit dem Value-Net-Ansatz entwickelte Parolini 1999 ein neues Konzept zur Darstellung von Wertschöpfungssystemen. Wertschöpfungsaktivitäten werden hierbei unabhängig von Unternehmensgrenzen dargestellt. Deshalb ist der Ansatz für eine Analyse der Veränderungen von Wertschöpfungskonfigurationen, wie sie in diesem Forschungsvorhaben vorgenommen wird, besonders gut geeignet. Das Konzept wird in den Abschnitten 3.4 und 5.2 angewendet und ist im Anhang ausführlich beschrieben.

Dieser Bericht will Veränderungen prognostizieren. Relevant sind deshalb dynamische Prozesse in Wertschöpfungssystemen, die Veränderungen bewirken. Die Wertschöpfungsstruktur resultiert zum einen aus unternehmensstrategischen Entscheidungen hinsichtlich der Wertschöpfungstiefe, also darüber, ob Wertschöpfungsfunktionen integriert werden oder nicht. Die Attraktivität, die für diese Entscheidung maßgeblich ist, wird besonders durch zwei Determinanten bestimmt: die derzeitige Attraktivität und die strategische Bedeutung. Zum anderen verursachen radikale Innovationen, wie die Elektrifizierung des Antriebsstrangs oder die Einführung einer neuen IKT-Architektur, auch Veränderungen in der Zusammenstellung und Interaktion der Wertschöpfungsfunktionen, unabhängig von deren Besetzung durch die Akteure.<sup>14</sup>

In der gegenwärtig verwendeten Automobiltechnik sind hohe spezifische Investitionen in Sach- und Humankapital gebunden. Mit der Einführung neuer Technik drohen diese Investitionen wertlos zu werden. Gleichzeitig sind hohe Investitionen für die Konzeption und Einführung neuer Technologien und Architekturen notwendig. Halten Unternehmen zu lange an alter Technologie fest, gefährdet das ihre Wettbewerbsposition stark. Insbesondere dann, wenn disruptive Technologien auftreten, ist es oft unerlässlich, dass Unternehmen bereits erreichte Vorteile aufgeben (Selbstkannibalisierung), um unter den neuen Bedingungen im Wettbewerb überleben zu können.<sup>15</sup>

11) Porter (2000), S. 69

12) Zerdick et al. (2001), S. 182

13) Vgl. Franz (2003), S. 39f.; Picot/Schmid (2006), S. 32f.

14) Eine ausführlichere Darstellung der Konzepte und Theorien ist dem Anhang zu entnehmen.

15) Dies entspricht dem „schöpferischen Zerstörer“ nach Schumpeter; vgl. hierzu Schumpeter (1993 [1934]).



Zur Klarstellung: Technologien gelten als disruptiv, wenn sie herkömmliche Lösungen ersetzen können, und dies im fortgeschrittenen Entwicklungsstadium zu deutlich geringeren Kosten beziehungsweise mit deutlich höherer Leistung. Für beide Technologien, die etablierte wie auch die disruptive, ist ein S-förmiger Verlauf der Kurve ihrer Leistungsfähigkeit im Verhältnis zum Entwicklungsaufwand charakteristisch (siehe *Abbildung 4*).

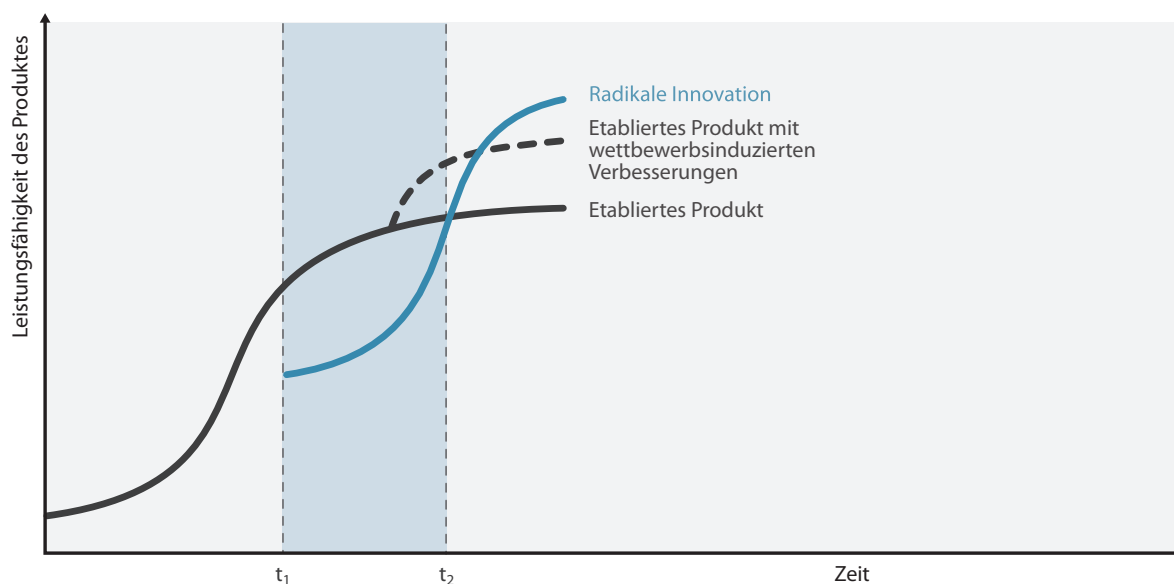
Auf die schwierige und aufwendige Grundlagenforschung mit geringer Leistungsausbeute folgt eine Phase mit hohem Performance-Gewinn, bevor die Grenzen der jeweiligen Technologie erreicht werden. In dieser letzten Phase sind Leistungssteigerungen nur noch mit hohem Entwicklungsaufwand möglich. Meistens weist die S-Kurve einer neuen Technologie anfangs eine geringere Leistungsfähigkeit als die einer herkömmlichen auf. Im Entwicklungszyklus überholt die neue Technologie jedoch die herkömmliche. Als Reaktion auf den neu entstandenen Wettbewerb kann es zwar noch zu Verbesserungen der etablierten Technologie kommen, wobei letzte Optimierungspotenziale realisiert werden, diese erreichen aber normalerweise nicht die Leistungsfähigkeit der neuen Technologie.<sup>17</sup>

Es ist gut denkbar, dass sowohl elektrisch angetriebene Fahrzeuge als auch die im vorliegenden Bericht be-

schriebene neue IKT-Architektur sich als solche disruptiven Innovationen erweisen. Gegenwärtig ist jedoch nicht absehbar, auf welchem Leistungsniveau sich die jeweiligen Grenzen der neuen Technologien befinden und welchen Verlauf die Kurve bis dorthin nehmen wird, also welcher Entwicklungsaufwand und, damit einhergehend, welcher Zeit- und Ressourceneinsatz hierfür benötigt werden.

Welche Folgen eine Strategie haben kann, die darauf abzielt, disruptive Innovationen zu vermeiden, zeigt der Übergang von mechatronischen Schreibmaschinen zu softwarebasierten Textverarbeitungssystemen. Mit hohem mechatronischem Aufwand wurden die Funktionen der Schreibmaschine verbessert und erweitert, ohne jedoch das Prinzip zu verändern. Die Parallelen sind frappierend: Auch das Auto wird seit Jahren mechatronisch hochgerüstet. Inwieweit IKT, aufbauend auf dem Potenzial der Elektrifizierung, das Prinzip Auto grundlegend infrage stellen könnte, wird jedoch bisher nur am Rande diskutiert.

**Abbildung 4: Leistungsfähigkeitskurven von etablierten Technologien und radikalen Innovationen im Vergleich**<sup>16</sup>



<sup>16</sup> In Anlehnung an Utterback (1994), S. 160

<sup>17</sup> Vgl. Utterback (1994), S. 158ff.; Christensen (1997), S. 39ff.

## 2.5 | Methodik und Vorgehen

Im Folgenden werden die im Projekt angewendeten grundlegenden Methoden „Future of Business“ und „Strategischer Dialog“ vorgestellt.

### 2.5.1 Die Methode „Future of Business“

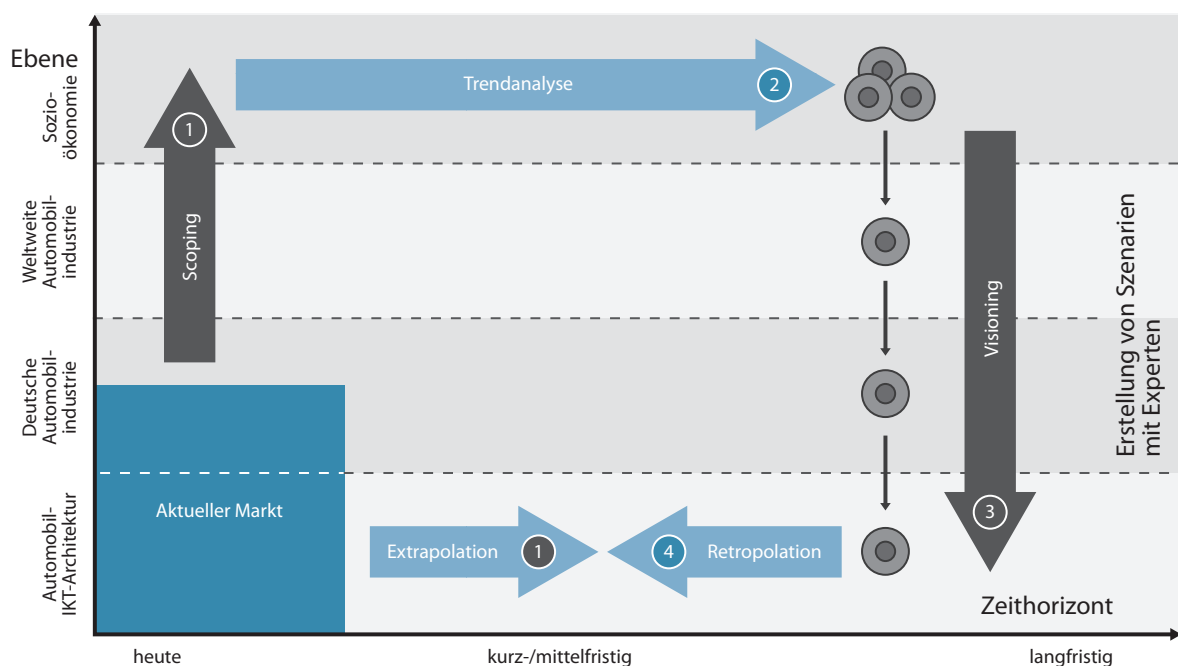
Die bei Siemens Corporate Technology entwickelte Methode „Future of Business“ (FoB) dient als Grundlage für die Analyse der bestehenden Trends und für die Definition der Szenarien. Neben Zukunftsszenarien mit allgemeinen Trendaussagen werden in diesem Bericht detaillierte Analysen der betroffenen Branchen und Märkte erstellt, die bis zur Komponenten- und Technologieebene belastbare Aussagen liefern. Die FoB-Methode besteht aus vier Schritten: Extrapolation in Verbindung mit Scoping, Trendanalyse, Visioning und Retropolation (siehe *Abbildung 5*).

Extrapolationen aktueller Entwicklungen werden auf Basis von Marktanalysen sowie Produkt- und Technologie-Roadmaps gemacht. Extrapolationen auf der Grundlage des aktuellen Markts sind aber in ihrer Aussagefähigkeit begrenzt. Die FoB-Methode verwendet deshalb Megatrends zur Verlängerung des Planungshorizonts. Auf der Basis von Annahmen über die volkswirtschaftliche Bedeutung des Automobils für die Bundesrepublik Deutschland werden in diesem Bericht wichtige Veränderungen im Wertschöpfungsnetzwerk untersucht, dazu die Anwendung der IKT im Automobil.

**1a. Extrapolation/Forecasting des aktuellen Markts**  
Die Extrapolation zeigt, mit welchen Veränderungen zu rechnen ist, wenn sich ein Trend längerfristig fortsetzt.

**1b. Scoping**  
Um das Ziel nicht aus den Augen zu verlieren, wurden bereits am Anfang des Prozesses sehr konkrete

**Abbildung 5: Die Methodik der Future of Business (FoB)**



Leitfragen definiert und in vier Ebenen geclustert: IKT-Architektur für das Automobil, deutsche Automobilindustrie, weltweite Automobilindustrie und Sozioökonomie.

## 2. Trendanalytik

Zur Trendanalytik gehören alle Untersuchungen von Richtung und Ausmaß einer Entwicklung. Dabei spielt die Extrapolation eine wichtige Rolle. Es wird aber nicht das aktuelle Geschäft allein extrapoliert, sondern die künftige Entwicklung des Industrieumfelds. Als Einflussfaktoren werden globale Megatrends herangezogen, da sie weltumspannende sozioökonomische oder strukturelle Prozesse abbilden, die einzelne Individuen weder beeinflussen noch ändern können.<sup>18</sup> Megatrends sind stabile Veränderungsprozesse, die über mehrere Jahrzehnte zu beobachten sind.<sup>19</sup> Hierzu wurden in dem Projekt umfangreiche Untersuchungen zur Sozioökonomie sowie zu Kunden und deren Nutzungsverhalten durchgeführt.

## 3. Visioning

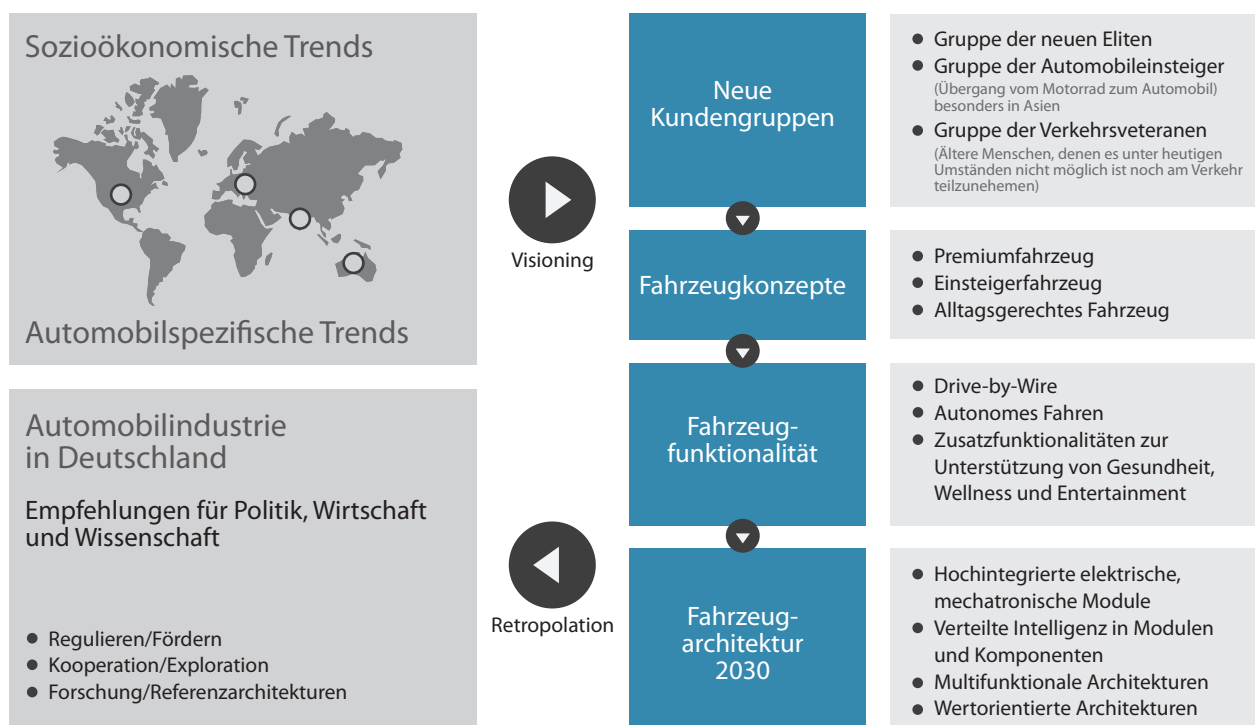
Von entscheidender Bedeutung, neben der Trend-Extrapolation, sind Hypothesen und Meinungen von

Experten. Um diese angemessen berücksichtigen zu können, wurden zuerst aus einer Reihe von sozioökonomischen Einflussgrößen und aus Expertenwissen wichtige sozioökonomische Szenarien mit überregionaler Geltung entwickelt. Unter Verwendung von stabilen Industrietrends und von Expertenmeinungen wurden dann aus diesen Szenarien industriespezifische Veränderungsprozesse mit großer Bedeutung für den Industriestandort Deutschland abgeleitet.

## 4. Retropotation

Die Wortschöpfung „Retropotation“ beschreibt einen Vorgang, bei dem ein Strategieprozess von der Zukunft in die Gegenwart, also rückwärts, gedacht wird. Zuerst werden dabei attraktive Zukunftsmärkte anhand ihrer geschäftlichen Bedeutung bewertet. Damit Deutschland auch in Zukunft im Automobilmarkt eine wichtige Rolle spielen kann, wurden die Aufgaben und Problemstellungen identifiziert, die zuerst angegangen werden müssen. Die Ergebnisse der Retropotation liegen in diesem Bericht als Empfehlungen vor.

Abbildung 6: Prozess und Struktur



18) Vgl. Naisbitt (1982)  
19) van Someren Taco (2005), S. 57

## 2.5.2 Strategische und technologische Dialoge

Nach einer vom Deutschen Dialog Institut entwickelten Methode der Konsensbildung wurden im Rahmen dieses Forschungsprojekts 240 positionsneutrale, vertrauliche Interviews mit relevanten direkt und indirekt betroffenen Akteuren aus Wirtschaft, Wissenschaft, Gesellschaft und Politik durchgeführt.

Diese frühzeitige, konstruktive und breit angelegte Einbindung wichtiger, heterogener Positionen in die Erarbeitung und Bewertung von Szenarien und Handlungsempfehlungen ermöglichte eine – sich gegenseitig befruchtende – intensive und pragmatische Diskussion aus ganz unterschiedlichen Perspektiven. Diese Form der „Objektivierung“ diente als Basis für eine höchstmögliche Akzeptanz des Meinungsbildungsprozesses und der resultierenden Handlungsempfehlungen. Die Interviews befassten sich neben technologischen auch mit einer Vielzahl von gesellschaftlichen Themen.

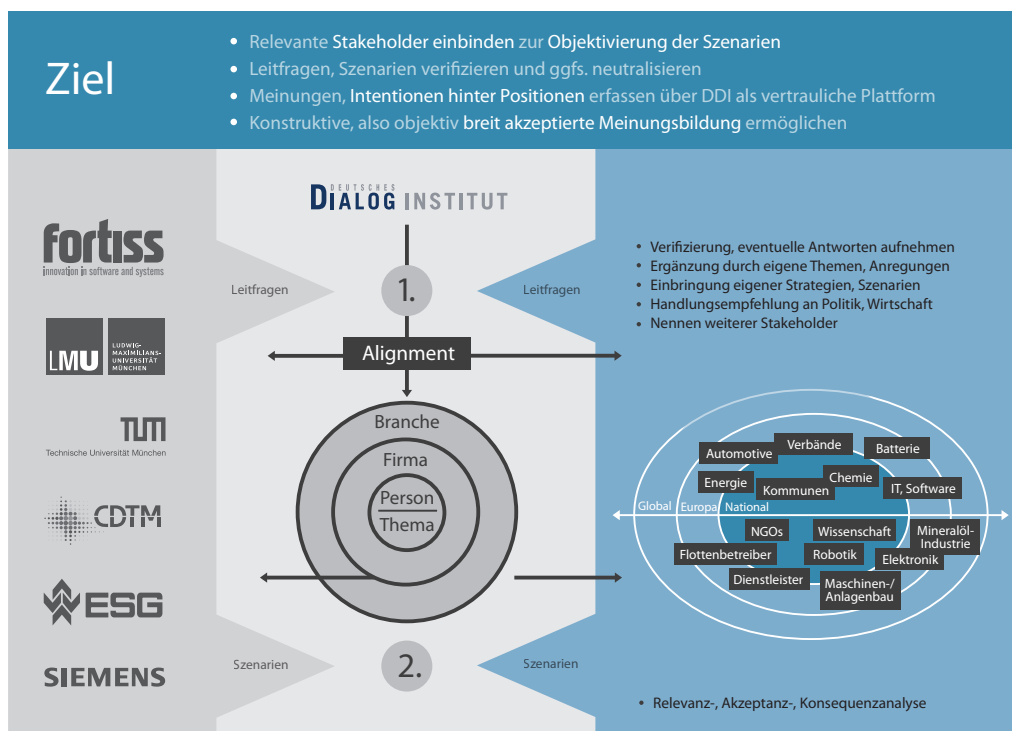
In der Phase der Extrapolation lag der Schwerpunkt der Dialoge darauf, die hinter den verschiedenen Posi-

tionen stehenden Intentionen und Interessen zu erfassen, die unter anderem der Erstellung und Verifizierung relevanter Leitfragen und Szenarien dienen sollten. Bei der Retropolation wurde der Fokus auf die Übersetzung und Vermittlung und damit auf die „Erdung“ dieser Szenarien gelegt.

In vertraulichen, semistrukturierten Tiefeninterviews wurden Standpunkte differenziert herausgearbeitet, mögliche Zukunftsbilder inklusive der Konsequenzen diskutiert und weitere Stakeholder identifiziert. Leitfragen wurden verifiziert und die Antworten der Stakeholder, inklusive Ergänzungen und Anregungen, im Idealfall sogar ihre Strategien und Szenarien, aufgenommen.

Weitere Ausführungen zu Methoden, Zielen, Erkenntnissen und Übersichten zu den geführten Interviews befinden sich im Anhang A. Zitate aus den Interviews sind in diesem Bericht durch Anführungszeichen hervorgehoben.

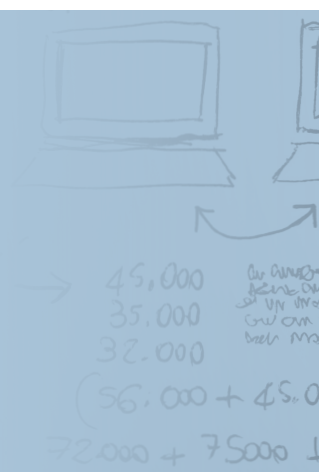
**Abbildung 7: Vorgehen bei den strategischen Dialogen**





KAPITEL 3

# Ist-Analyse 2010



## 3.1 | Soziale Bedeutung des Automobils

Die wichtigsten Gründe für die Bedeutung des Automobils sind einerseits die universelle, individuelle und motorisierte Fortbewegung, andererseits der flexible, schnelle Transport von Gütern. Bis in das 19. Jahrhundert hinein standen nur langsame Fortbewegungsmittel wie Kutsche oder Pferd zur Verfügung. Mit der Erfindung der Eisenbahn wurden Reisen und Transporte zwar schneller, aber man war an Fahrpläne und festgelegte Haltepunkte gebunden.

Erst das Automobil ermöglichte individuelle Mobilität für große Teile der Bevölkerung – und wurde ein gewaltiger Erfolg: Am 1. Januar 2010 waren in

Deutschland 50.184.419 Kraftfahrzeuge zugelassen.<sup>20</sup> Das Auto bietet die Voraussetzungen, um auch größere Entfernungen zu Arbeits- oder Erholungsstätten zu meistern, größere Einkäufe zu tätigen oder in den Urlaub zu fahren. Viele Haushalte besitzen heute mehrere Autos und verzichten dafür auf eine größere Wohnung oder einen aufwendigeren Lebensstil. Das Automobil ist zudem immer noch ein Statussymbol, und es kann sogar Kosten sparen: Ohne Auto wären die Kosten für Transport und der zeitliche Aufwand für das Wohnen abseits vom Arbeitsplatz oder jenseits größerer Einkaufsmöglichkeiten wesentlich höher.

## 3.2 | Aktueller Stellenwert der Automobil- und der IKT-Industrie in Deutschland

Die Automobilbranche hat in Deutschland eine Bedeutung wie in kaum einem anderen Land.<sup>21</sup> Mit einem Umsatz von mehr als 263 Milliarden Euro im Jahr 2009 leistet sie rund 20 Prozent des Gesamtumsatzes der deutschen Industrie und stellt damit den größten Wirtschaftszweig Deutschlands dar. Deutschland verfügt mit 30 Standorten in Europa über die höchste Dichte von Fabriken, in denen Automobile

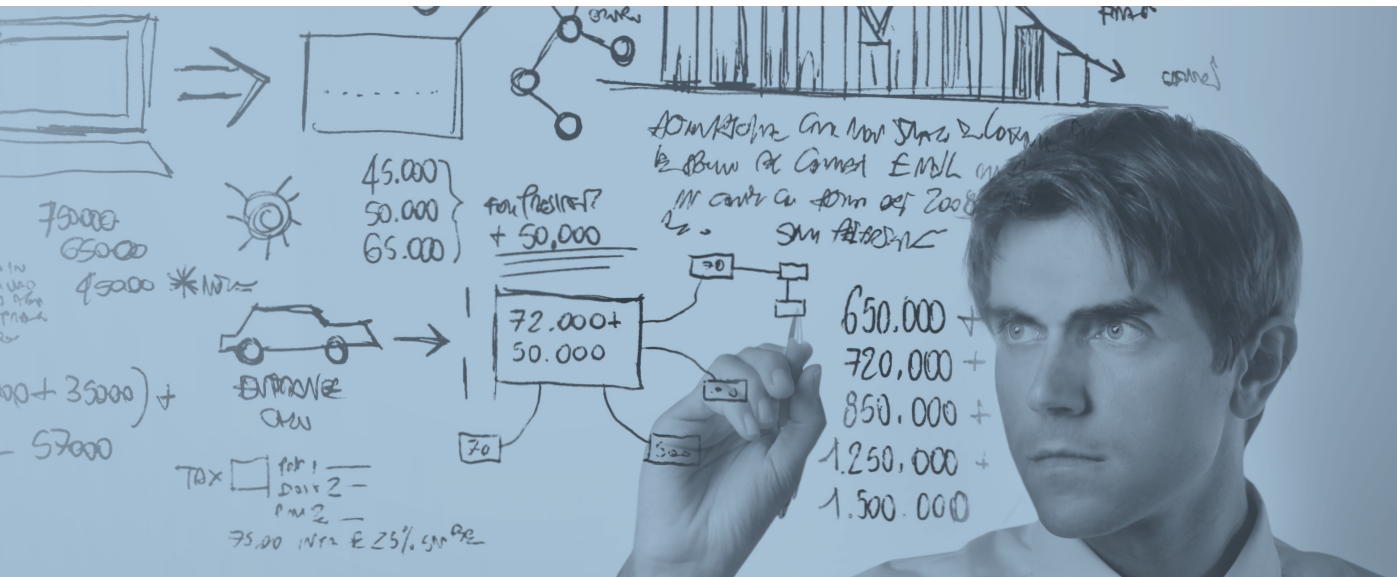
hergestellt werden.<sup>22</sup> Mit 723.000 Beschäftigten ist die Automobilbranche einer der größten Arbeitgeber in Deutschland. Der Anteil der Beschäftigten in dieser Branche an denen in der Gesamtindustrie hat sich bis 2010 auf 14 Prozent erhöht. Rechnet man alle Beschäftigten zusammen, die in einem Industriebereich arbeiten, der vom Auto abhängig ist, kommt man auf mehr als fünf Millionen Arbeitsplätze.<sup>23</sup>

20) Vgl. Kraftfahrzeugbundesamt 2010 aus: [http://www.kba.de/nn\\_191172/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/FahrzeugklassenAufbauarten/b\\_fzkl\\_zeitreihe.html](http://www.kba.de/nn_191172/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/FahrzeugklassenAufbauarten/b_fzkl_zeitreihe.html)

21) Vgl. Legler et al. (2009), S. 1

22) Vgl. Krauss et al. (2010), S. 4

23) Vgl. VDA (2010)



Die Stärke Deutschlands in der Automobilherstellung basiert auf einem großen Produktivitätsvorsprung und jahrzehntelangen hohen Aufwendungen für Innovationen. Im Jahr 2009 produzierten deutsche Hersteller 10,4 Millionen Fahrzeuge, ein Anteil von 17 Prozent der weltweit hergestellten Kraftwagen. Die Hälfte des deutschen Anteils, 5,2 Millionen Fahrzeuge, wurden im Inland gefertigt. Die Exportquote deutscher Kraftwagen belief sich auf 68,8 Prozent. Die starke Position deutscher Autohersteller im Ausland erhält auch Arbeitsplätze im Inland: Drei neu geschaffene Arbeitsplätze im Ausland erhalten eine Arbeitsstelle in Deutschland. Die Ausgaben für Forschung und Entwicklung als Antrieb für Innovationen in der Automobilbranche lagen 2009 bei 21 Milliarden Euro; dies entspricht 36,5 Prozent der gesamten deutschen Investitionen in Forschung und Entwicklung von 57,4 Milliarden Euro. 90.410 Menschen waren 2009 in der automobilen Forschung und Entwicklung beschäftigt. Rund zehn neue Patente werden im Durchschnitt täglich angemeldet; damit ist Deutschland die innovativste Automobilnation der Welt.<sup>24</sup>

Im Jahr 2009 waren zwei deutsche Unternehmen auf den Plätzen 2 und 3 unter den umsatzstärksten Automobilzulieferern weltweit. Die Plätze 1, 4 und 5 gingen allerdings an japanische Unternehmen. Vor allem die innovationstarke mittelständische Zulieferindustrie trägt wesentlich zur Stabilisierung des deutschen Arbeitsmarkts bei. Sie beschäftigt – direkt und indirekt – rund eine Million Arbeitnehmer. Etwa zwei Drittel des Gesamtumsatzes dieser Industrie, der bei 50 Milliarden Euro liegt, entfallen auf den Inlandsmarkt. Im Hinblick auf die Einführung einer neuen IKT-Architektur werden nachfolgend die Märkte für Informations- und Kommunikationstechnik, Sensorik und Halbleitertechnik betrachtet.

**IKT** Die IKT wird für die Automobilindustrie immer wichtiger; gleichzeitig ist Europa der wichtigste Innovationstreiber in der Automobilelektronik. Im Jahr 2008 gab es in Deutschland 72.000 IKT-Unternehmen mit insgesamt 800.000 Arbeitnehmern und einem Gesamtumsatz von 133,3 Milliarden Euro. Mit 1.800 Patentanmeldungen im Jahr 2007 lagen die deutschen Unternehmen im IKT-Bereich auf Platz 3 hinter den USA und Japan.<sup>25</sup>

**Sensorik** Prognosen aus dem Jahr 2010 besagen, dass das Marktvolumen im Bereich der automobilen Sensorik von 9,9 Milliarden US-Dollar (circa 7,5 Milliarden Euro – Währungsumrechnung im folgenden Absatz nach Kurs vom Dezember 2010) im Jahr 2009 auf 11,3 Milliarden US-Dollar (zirka 8,6 Milliarden Euro) bis Ende 2010 ansteigen wird. Dies entspräche einem Wachstum von 15 Prozent.<sup>26</sup> Im Jahr 2017 sollen mehr als vier Milliarden Sensoren verkauft werden. Dies entspricht einem Wert von etwa 17,6 Milliarden US-Dollar (circa 13,4 Milliarden Euro). Im Bereich der Sensorik gibt es in Deutschland insgesamt 2.500 Firmen mit 230.000 Mitarbeitern, davon stellen 800 Unternehmen selbst Sensoren her. Der Umsatz dieser Hersteller beläuft sich auf 22 bis 25 Milliarden Euro. Während die Branche weltweit jährlich um fünf bis zehn Prozent wächst, liegen die Wachstumsraten in Deutschland bei acht bis zwölf Prozent. Die Exportquote von Sensoren liegt bei 35 bis 40 Prozent aus dem direkten Verkauf an andere Unternehmen. 60 bis 70 Prozent entfallen auf den indirekten Verkauf, also auf Sensoren, die in Fahrzeugen verbaut sind. Der Sensorikmarkt ist von kleinen und mittelständischen Unternehmen mit 100 bis 300 Mitarbeitern geprägt. Auch eine starke Agglomeration ist zu beobachten: Starke regionale Cluster befinden sich etwa in Bayern und Baden-Württemberg. Ne-

24) Vgl. Krauss et al. (2010), S. 4  
 25) Vgl. Fitzgerald (2010)  
 26) Vgl. Fitzgerald (2010)

ben dem süddeutschen Raum und der Schweiz gibt es noch aufstrebende Regionen um Dresden und Jena herum sowie in Nordrhein-Westfalen.<sup>27</sup>

**Halbleitertechnologie** Auch die Halbleitertechnologie gewinnt für den Automotive-Sektor an Bedeutung. Infineon Technologies ist beispielsweise einer der weltweit führenden Chip-Hersteller für die Automobilelektronik.

Im Jahr 2009 erreichte das Unternehmen einen Umsatz von etwa 1,31 Milliarden US-Dollar (circa eine Milliarde Euro), was einem Marktanteil von neun Prozent entspricht. Durch die Folgen der Finanzkrise schrumpfte 2009 der Chip-Weltmarkt im Automobilbereich um 21 Prozent und lag danach bei insgesamt 14,4 Milliarden US-Dollar (circa 10,9 Milliarden Euro). Wichtige Lieferanten, neben Infineon, sind Freescale, STM und Renesas.<sup>28</sup>

### 3.3 | IKT im Automobil heute

Wesentliche Innovationen im Automobilbau wurden in den letzten 30 Jahren durch IKT – also elektronische Steuergeräte einschließlich Software – ermöglicht, zum Beispiel bei Bosch:

- **1978: Antiblockiersystem**
- **1979: Digitale Einspritzung**
- **1986: Elektrische Dieseleinspritzung**
- **1995: Elektronisches Stabilitätsprogramm**
- **2000: Adaptive Cruise Control**
- **2008: Einparkassistent**
- **2010: Notbremsassistent**

Durch diese Innovationsleistung liefert die heute eingebettete IKT im Automobilbau nach aktuellen Einschätzungen circa 30 bis 40 Prozent Anteil an der gesamten Wertschöpfung. Andererseits hat die IKT-Architektur, besonders die darin enthaltene Software, einen wesentlichen Anteil am Umfang der Fahrzeugentwicklung eingenommen: Anfang der 1970er-Jahre war die eingebettete Software eines Kfz nicht umfangreicher als 100 Zeilen Programm-Code (Lines of Code, LOC), die auf die Motorsteuerung entfielen. 2008 belief sich der durchschnittliche Umfang an Software im Fahrzeug auf circa eine Million, bei Premiumfahrzeugen sogar bis zu zehn Millionen Codezeilen. Die IKT-Infrastruktur im Automobil von heute ist durch eine Vielzahl von Einflüssen geprägt, deren Komplexität in den letzten Jahren stark zugenommen hat.

#### **Komplexität der Domänen, also der in die Fahrzeugentwicklung involvierten Bereiche**

- Anwendungsdomänen wie Antrieb (Motor, Getriebe, Rad etc.), Karosserie (Beleuchtung, Schließung etc.), Infotainment (Mensch-Maschine-Schnittstelle/Human-Machine Interface, HMI, Unterhaltungselektronik etc.)

- Ingenieur-Domänen wie Mechanik, Elektrik/Elektronik, Informatik

#### **Komplexität der Technologie, also der zur Umsetzung verwendeten Techniken**

- Plattform, etwa Speicherbeschränkung (Arbeits- und nicht flüchtiger Speicher), Bandbreitenbeschränkung (interne und externe Kommunikation)
- Verteilung der Funktionalität, zum Beispiel auf Sensoren (für Geschwindigkeit, Beschleunigung, Abstand etc.), Steuergeräte (für Motor, Konsolen, Türen etc.) und ihre Varianten (etwa Prozessoren und Schnittstellen), Bussysteme (Antrieb, Karosserie, Innenraum, Multimedia etc.) und ihre Varianten wie „CAN“ (Controller Area Network), „LIN“ (Local Interconnect Network), „FlexRay“ und „MOST“ (Media Oriented Systems Transport)

#### **Komplexität der Funktionalität, also der vom Fahrzeug erbrachten Leistungen**

- Zuwachs, etwa an Komfortfunktionen wie Zentralverriegelung oder Tempomat, an Infotainment-Funktionen wie Fahrzeugkonfiguration oder Navigation, an Fahrdynamik-Funktionen wie elektronische Stabilitätskontrolle und Antiblockiersystem
- Zunehmende Verflechtung, etwa durch elektronische Stabilitätssysteme mit Interaktion zwischen Lenkung, Bremsen pro Rad, Gierraten-Messung etc., durch adaptive Tempomat-Systeme mit Interaktion zwischen Antrieb, Distanzmessung, Nutzerschnittstelle etc.

#### **Komplexität der Entwicklung, also des Fahrzeug-Erstellungsprozesses**

- Unternehmens- beziehungsweise Zulieferorganisation, etwa Hard- und Middleware-Zulieferer wie

27) Vgl. Fachverband für Sensorik e.V. (2011)  
28) Vgl. Fitzgerald (2010)

„OSEK“ (Offene Systeme und deren Schnittstellen für die Elektronik im Kraftfahrzeug), „AUTOSAR“ (Automotive Open System Architecture) sowie CAN und FlexRay, Realisierer von (oft in Steuergeräte eingekapselten) Anwendungsfunktionen wie Infotainment-Steuerung oder Beleuchtung

- Produktlinien, etwa Ausstattung (zum Beispiel Diesel/Benzin, 4-/6-/8-Zylinder, Handschaltung/Automatikgetriebe), Ländervarianten wie Links- oder Rechtslenkung und Abgasnormen

Die so entstandene IKT-Architektur ist aufgrund der evolutionären Entwicklung sogar noch komplexer, als es diese Einflüsse zwingend erforderlich gemacht hätten (siehe Kapitel 4).

Die Automobilentwicklung ist geprägt von langen Entwicklungszyklen (länger als acht Jahre). Um auf den Wettbewerb zu reagieren, müssen jedoch Funktionen noch spät in der Entwicklung realisiert werden. Solche Änderungen werden häufig auf Elektronik, besonders auf die Software abgewälzt, da sie mit deren größerer Flexibilität leichter zu realisieren sind. Verkürzungen der Entwicklungszyklen, wie sie sich zum Beispiel beim VW Passat – auf circa fünf Jahre – abzeichnen, werden jedoch kaum zu einer Entlastung beitragen; vielmehr verkürzen sich gleichzeitig die Innovationszyklen und der Funktionsdruck steigt. Hinzu kommt, dass insbesondere die Automobilindustrie über die letzten Jahrzehnte eine evolutionäre Entwicklungsstrategie angewendet hat. Dabei wurden Entscheidungen getroffen und haben sich verfestigt, die sich in Summe negativ auf die Entwicklung der IKT-Architektur im Automobil ausgewirkt haben.

Nicht zuletzt haben sich organisatorische und wirtschaftliche Strukturen der Hersteller und ihrer Zulieferer herausgebildet, die traditionell auf die modulare Entwicklung mechanisch oder elektrisch geprägter Produkte eingestellt sind. Eine effektive und effiziente Entwicklung übergreifender Funktionen, wie sie mittels Software realisiert werden kann, unterstützen sie dagegen nur unzureichend.

Die gegenwärtige Komplexität der Automobil-IKT ist also eher historisch und organisatorisch bedingt. Die IKT wurde dadurch nicht nur zu einem unnötig großen Kostenblock in der Entwicklung, sondern wird auch zu einem Risikofaktor: Bei einem 2002 in den USA gefertigten Kleinwagen führte zum Beispiel der Ausfall eines der Bremslichter dazu, dass die Automatik komplett blockiert war. Als Konsequenz aus derartigen Risiken werden insbesondere komplexe sicherheitskritische Fahrzeugfunktionen nur sehr zögerlich umgesetzt. Auf diesem Weg wird die herkömmliche IKT-Architektur daher zunehmend zu einem Innovationshemmnis.

Auch aus Wettbewerbssicht wachsen die Probleme, die sich aus der gegenwärtig verwendeten Architektur ergeben – vor allem dadurch, dass der Aufwand für Gewährleistungen zunimmt. So schätzte McKinsey<sup>29</sup>, dass im Jahr 2008 die Autohersteller 15 bis 20 Prozent mehr EBIT (Earnings before Interest and Taxes/Gewinn vor Steuern und Zinsen) erzielt hätten, wenn keine Gewährleistungskosten für Fehler angefallen wären, die durch eingebettete Software verursacht wurden. Im Folgenden werden die oben angerissenen Probleme verdeutlicht, indem

- die Bedeutung der IKT im Fahrzeug als Träger für wesentliche Funktionsinnovationen in der Automobilindustrie dargestellt wird,
- Beispiele für zukünftige Funktionen genannt werden, die nur schwer mit herkömmlichen IKT-Infrastrukturen umgesetzt werden können,
- die wesentlichen Merkmale dieser herkömmlichen IKT-Architekturen skizziert werden,
- wichtige Randbedingungen des aktuellen Entwicklungsprozesses in der Automobilindustrie identifiziert werden, die sich auf die Informations- und Kommunikationstechnik auswirken,
- Herausforderungen, Schwächen und Konsequenzen der herkömmlichen IKT-Architektur benannt werden.

### 3.3.1 IKT realisiert wesentliche Fahrzeugfunktionen

Die Automobil-IKT – realisiert als Kombination von eingebetteten Systemen, Infotainment-Systemen und fahrzeugübergreifender Kommunikation – ist eine wesentliche Voraussetzung für energiesparende und

komfortable Fahrzeuge geworden. Nach Einschätzung von Experten ist sie für bis zu 80 Prozent aller Innovationen im automobilen Premiumsegment wesentlich verantwortlich. Dabei betrifft die IKT inzwischen alle

29) Vgl. Hoch, D. J. et al. (2006), The Race to Master Automotive Embedded Systems Development, McKinsey & Company



Bereiche der Fahrzeugfunktionen, wie die folgenden Beispiele aus verschiedenen Anwendungsfeldern zeigen. Einerseits wird sie zur Virtualisierung und damit zum kostengünstigen Ersatz für mechanische oder elektrische Lösungen eingesetzt, andererseits zur Realisierung völlig neuer Funktionen:

- bei Motorsteuerung und Antrieb: von der Kraftstoffeinspritzung und Steuerung des Zündzeitpunkts bis hin zur Getriebesteuerung,
- beim Fahrwerk: von der Längsdynamik einschließlich Bremsung bis zur Querdynamik und Lenkung (oft radspezifisch) mit Querschnittsfunktionen wie Antiblockiersystem oder Elektronische Stabilitätskontrolle,
- bei der Karosserie: von Beleuchtungs- und Blinkfunktionen bis hin zur Komfortschließung und Fensterhebe-Funktion,
- beim Innenraum: von der Klimatechnik bis hin zur Sitzverstellung,
- beim Infotainment: von der persönlichen Konfiguration des Fahrzeugs bis hin zur Routenplanung.

Besonders deutlich wird die Rolle der IKT im Fahrzeug jedoch anhand übergreifender Funktionsbereiche, die nur durch das komplexe Zusammenspiel einzelner Funktionen realisiert werden können,

nicht selten sogar aus unterschiedlichen Fahrzeugdomänen:

- bei der Realisierung von sicherheitskritischer Grundfunktionalität, unter anderem als Maßnahmen zur Erhöhung der Robustheit (beispielsweise durch Sensordaten-Fusion, die ein Plus an Verlässlichkeit von Sensormessungen bewirkt), zur Unterstützung des Fehlermanagements (beispielsweise mittels Wechsel in abgesicherte Betriebszustände bei Ausfall von Sensoren) oder Diagnose (beispielsweise durch umfassende Protokollierung von Abweichungen von zulässigen Sensorwerten),
- bei der Fahrerassistenz, also der Unterstützung des Fahrers, derzeit insbesondere bei Routinetätigkeiten im Fahrbetrieb, von der adaptiven distanzgeregelten Geschwindigkeitskontrolle bis hin zum (teil-)autonomen Einparken.

Weil besonders für die Umsetzung der regulatorischen Anforderungen – etwa der europäischen Vereinbarung zur Reduktion der Emission oder der Standards und Anforderungen zur Reduzierung von Unfallfolgen – komplexe, meist domänenübergreifende Funktionen herangezogen werden, können diese Gesamtfunktionalitäten nur mit IKT realisiert werden.

### 3.3.2 Neue Funktionen – ausgebremst durch veraltete IKT

Moderne IKT-Architektur sorgt im Fahrzeug für viele Funktionen. Softwaregesteuerte Systeme zur Realisierung hoch sicherheitsrelevanter Fahrzeugfunktionen sind dagegen noch schwach vertreten; der effektive Einsatz von IKT bleibt hier deutlich hinter den technischen Möglichkeiten zurück:

- Sicherheit wird vor allem durch Maßnahmen der passiven Sicherheit und nicht durch IKT realisiert; viele IKT-gestützte Sicherheitsmechanismen, wie Airbag, Gurtstraffer oder Spurhaltefunktion, wirken rein reaktiv. Nur zögerlich werden unterstützende Maßnahmen (wie bremskraftverstärkende Notbrems-Assistenten) in Fahrzeugen umgesetzt. Auch proaktive Sicherheitsfunktionen, etwa das autonome Einleiten von Bremsungen, die hohe Anforderungen an die IKT stellen, werden nur mit starker Zurückhaltung angegangen.

- „Drive-by-Wire“, also die Steuerung des Fahrzeugs ausschließlich durch das elektronische Übertragen des Fahrerwunsches an die Räder, dafür völlig ohne Einsatz von mechanischen Lenkmitteln wie Lenkrad, -säule und -gestänge, stellt sehr hohe Anforderungen an die Verlässlichkeit der IKT. Sie trifft deshalb ebenfalls noch auf größte Zurückhaltung. In der Flugzeugindustrie dagegen hat eine vergleichbare Innovation („Fly-by-Wire“) eine Revolution ausgelöst: Neue Bauformen von Flugzeugen wurden ebenso möglich wie mehr Sicherheit im Flugbetrieb durch aktiven Eingriff der Elektronik in die Steuerung durch den Piloten.

Auch in anderen Bereichen zeigt sich, dass die aktuelle IKT-Architektur im Fahrzeug nicht mit der Entwicklung in anderen Branchen Schritt hält. Einige Beispiele:

- Infotainment-Funktionen wie die Routenplanung werden heute eher von externen Zusatzgeräten erbracht, weil festverbaute Geräte nicht mit deren Innovationszyklen mithalten können.
- Externe Geräte wie Mobiltelefone oder Smartphones können meist nur in Fahrzeugen der Premiumklasse ins Bordsystem eingebunden werden; zudem gilt das oft nur für ein kleines Gerätespektrum und außerdem mit Verspätung.
- Fahrzeuge außerhalb des oberen Premiumsegments unterstützen kaum die Kommunikation nach außen, zum Beispiel das Abrufen aktueller Infrastruktur-Informationen wie Staumeldungen oder das Weitergeben von Diagnose- und Wartungsdaten.

### 3.3.3 Merkmale aktueller IKT-Architekturen

Wie oben beschrieben, wirkt IKT im Fahrzeug einerseits als „enabling technology“ für wesentliche wettbewerbsrelevante Funktionen, andererseits wird sie heute nur zurückhaltend eingesetzt, um komplexere Innovationen umzusetzen. Um diese Diskrepanz nachvollziehen zu können, müssen die zentralen Eigenschaften der aktuellen IKT-Architektur im Automobilsektor analysiert werden:

- Insbesondere deutsche Premiumfahrzeuge zeichnen sich durch eine hohe Anzahl von Steuergeräten (Electronic Control Units, ECUs) aus; bis zu 100 Geräte pro Fahrzeug werden verbaut. Die letzten Jahre brachten dabei einen dramatischen Anstieg: Beispielsweise stieg die Zahl an ECUs in der Mercedes-S-Klasse von der Vorgängergeneration zur 2008er-Bauserie um 64 Prozent beziehungsweise von 45 auf bis zu 72 ECUs. Der Bedarf an Einbauraum und Energie stieg entsprechend. Die ECU-Zunahme ist teilweise darauf zurückzuführen, dass viele Fahrzeugfunktionen noch immer durch Steuergeräte beziehungsweise Steuergeräte-Netzwerke in Form kombinierter Soft- und Hardwaremodule realisiert werden. Im Folgenden wird darauf ausführlich eingegangen.
- Steuergeräte werden oft für den problemspezifischen Einsatz entwickelt, und zwar als bauliche Einheiten von Steuergeräten mit daran gekoppelten Sensoren und Aktoren. Durch den Verzicht auf intelligente Peripherie, die sich in Kommunikationsnetzwerke einbinden lässt, ist eine plattformneutrale Entwicklung und Verteilung der Software auf unterschiedliche Steuergeräte kaum möglich. Sogar mit modernen Laufzeitumgebungen wie AUTOSAR lassen sich Funktionen kaum plattformneutral realisieren. Das liegt an mangelnder Entkopplung, das heißt: Ungewollte Wechselwirkungen zwischen Funktionen werden nicht verhindert. Ein Beispiel ist die gegenseitige zeitliche Beeinflussung unterschiedlicher Funktionen bei der Ausführung auf demselben Prozessor. Damit sind Hersteller auch bei Standardfunktionen zunehmend abhängig von spezifischen Zulieferern.
- Steuergeräte werden vernetzt über mehrere Bussysteme (etwa für Motorraum und Getriebe, Karosserie, Innenraum, Infotainment) und unterschiedliche Protokollsysteme (unter anderem LIN-Bus für niedrige Bandbreiten, besonders zu Sensoren und Aktoren, CAN-Bus für die ereignisgesteuerte Kommunikation zwischen Steuergeräten, zunehmend FlexRay für zeitkritische Kommunikation sowie MOST für die Übertragung von Mediendaten mit hohen Bandbreiten). Die evolutionäre Entwicklung der Kommunikationsinfrastruktur im Fahrzeug hat zu jeweils eigenen Vernetzungen für unterschiedliche Funktionsdomänen (Antrieb, Infotainment etc.) und unterschiedliche technische Protokolle geführt. Diese Partitionierung der Vernetzung im Automobil ist zwar nicht immer sinnvoll, gleichwohl wurde sie durch das historische Wachstum zementiert. Zur Überbrückung der Kluften zwischen unterschiedlichen Domänen und Protokollen müssen daher oft Gateways eingesetzt werden, um übergreifende Funktionalitäten realisieren zu können.
- Der Kabelbaum – in dem die elektrischen und elektronischen Verbindungen zusammengefasst werden – ist das teuerste Einzelstück in der gesamten Elektrik/Elektronik-Architektur; Steuergeräte und Kabelbaum zusammen sind, neben dem Motor, das teuerste Bauteil im Fahrzeug. Die hohen Kosten ergeben sich aus der Komplexität der Vernetzung. Diese wird ausgelöst durch den großen Umfang und die ausgeprägte Heterogenität der informationstechnischen Infrastruktur; sie wird ferner verstärkt durch zusätzliche Faktoren wie die Vielfalt der

Steckverbindungen. Diese ist wiederum bedingt durch die steuengeräte-spezifische angeschlossene Sensorik und Mechatronik. Zum Beispiel sind alle Kabel im Kabelbaum eines VW Phaeton zusammengenommen 3.860 Meter lang und 64 Kilo schwer. Neben den inhärenten, also direkten Kosten des Kabelbaums erzeugt dessen Komplexität weitere, indirekte Kosten, etwa durch die Anfälligkeit der Steckverbindungen oder den hohen Aufwand bei der Verlegung. Außerdem: Durch die vielfältige und starke technische Wechselwirkung zwischen Steuergeräten, Peripherie in Form von Sensoren und Aktoren sowie dem Kabelbaum muss ein hoher Abstimmungsaufwand bei der Entwicklung all dieser Komponenten getrieben werden.

- Conways Gesetz besagt, dass IKT-Architekturen strukturell Abbilder der Organisationen sind, die sie erstellen: „Organizations which design systems [...] are constrained to produce designs which are copies of the communication structures of these organizations.“<sup>30</sup> Die IKT-Architektur von Fahrzeugen wird also von der Struktur des Herstellers und der vom Hersteller genutzten Zulieferkette geprägt. Historisch bedingt sind diese organisatorischen Strukturen jedoch außerdem von einer Modularisierung aus mechanischer Sicht geprägt. Deshalb folgt die oben beschriebene Modularisierung der IKT-Architektur, also die Partitionierung der Funktionen auf Steuergeräte und Teilbussysteme, oft

dem mechanischen Aufbau der Fahrzeuge. Das führt dazu, dass viele Fahrzeugfunktionen als Einheiten von Soft- und Hardware auf jeweils eigenen Steuergeräten oder Steuergeräte-Verbänden realisiert werden, und zwar von Zulieferern, die ein hohes Maß an spezifischer Kompetenz in diesen Bereichen aufweisen. Diese enge Kopplung zwischen Mechanik und Elektrik einerseits sowie Software andererseits und ihre historische Zementierung führen jedoch dazu, dass die IKT-Architektur in ihrer Funktionalität stark fragmentiert ist und übergreifende Kundenfunktionen sich nur schwierig implementieren lassen. Darüber hinaus macht es diese Struktur und Organisation schwierig, Zulieferer einzelner Funktionen zu wechseln.

- Aktuelle IKT-Infrastrukturen sind sehr stark daraufhin ausgelegt, Fahrzeuge als geschlossene Systeme zu realisieren. Da viele Hersteller versuchen, sich mit besonderen Funktionen einen Wettbewerbsvorteil zu verschaffen, liegt es nicht in ihrem Interesse, die Informations-Infrastruktur von Fahrzeugen zu öffnen und IKT-Schnittstellen nach außen anzubieten. Obwohl technische Ansätze zur Definition von offenen „Vehicle APIs“ oder „Vehicle object models“ existieren, sind die Schnittstellen aktueller IKT-Architekturen im Fahrzeug auch weiterhin weitgehend proprietär und erlauben es kaum, hersteller- und fahrzeugübergreifende Dienste oder Funktionen zu realisieren.

### 3.3.4 Entwicklungsprozess

Die Defizite der aktuellen IKT-Architekturen im Fahrzeug werden durch den IKT-Entwicklungsprozess verstärkt. Um die IKT-Architektur zu revolutionieren, muss der Entwicklungsprozess umfassend angepasst werden. Im Folgenden werden daher die Defizite in Technik und Entwicklungsprozess skizziert, die zu den genannten Einschränkungen führen:

**Bottom-up-Entwicklung** Der Prozess fußt häufig auf der Integration von Funktionen, die unabhängig voneinander – entweder durch Zulieferer oder durch Steuergeräte-Verantwortliche bei den OEMs – entwickelt wurden. Funktionen sind meist lokal optimiert und nicht auf starke Interaktion ausgelegt. Eine Sicht auf das Gesamtsystem in all seiner Komplexität findet kaum statt.

**Evolutionärer Entwicklungsprozess** Entwicklungen sind an vorhandener Technologie (Legacy) ausge-

richtet, finden deshalb meist evolutionär statt und bringen nur geringe Verbesserungen im Vergleich zu vorherigen Lösungen. Einmal getroffene Entwurfsentscheidungen werden kaum infrage gestellt, auch wenn sie die Entwicklungspotenziale stark einschränken.

**Niedriger Commodity-Anteil** Der aktuelle Entwicklungsprozess zielt sehr stark darauf ab, wettbewerbsrelevante Funktionen zur Verfügung zu stellen, und zwar vorzugsweise als Eigenentwicklungen oder im Rahmen spezifischer Aufträge. Standardfunktionalität wird kaum eingesetzt, Standardkomponenten (Common-off-the-Shelf, Cots) werden überwiegend für Middleware einschließlich Konfiguration und Diagnose verwendet; die AUTOSAR-Architektur etwa wird nur in zehn bis 30 Prozent der Steuergeräte und in einigen Domänen angewendet.

30) Conway, M. E. (April 1968), „How Do Committees Invent?“, Datamation 14 (5), 28–31

**Extreme Funktionsvielfalt** Hersteller versuchen, einzelne Funktionen isoliert zu verkaufen. Software wird dabei meist so vorbereitet, dass sie alle Funktionskombinationen, unabhängig von der Hardwareplattform, vorhält; erst bei der Produktion werden die gewünschten Funktionen freigeschaltet. Gleichzeitig wird eine sehr hohe Vielfalt von verschiedenen Varianten pro Serie angeboten. Die Möglichkeit, Software mit neuen Funktionen nach der Auslieferung des Systems nachzuladen, wird nur selten genutzt.

**Klassischer Entwicklungsprozess** Die IKT-Architektur wird in einem traditionellen Prozess entwickelt, bei dem die späten Phasen wie Programmierung, Implementierung und Test betont werden. Die frühen Phasen, in denen Funktionen und Komponenten modelliert werden, haben nur geringe Bedeutung. Beim Absichern des

Entwicklungsprozesses haben Tests eine große Bedeutung; diese Aufgabe findet daher spät statt und ist sehr aufwendig. Frühere und weniger aufwendige Verifikationstechniken kommen kaum zum Einsatz.

**An Stückkosten orientiertes Geschäftsmodell** Die Kosten von IKT-Entwürfen werden mit einem Modell bewertet, das sich stark daran orientiert, was die Hardware der aus einem Entwurf resultierenden IKT-Architektur kostet. Um die Hardwarekosten niedrig zu halten, muss die zu entwickelnde Software sehr stark hinsichtlich Speicher- und Rechenleistung optimiert werden. Dies führt zu einer Plattformentorierung neuer Lösungen: Mit dem Wechsel der Hardware- und Middlewareplattform werden also meist wesentliche Eingriffe in die Software notwendig; Wiederverwendung von Software ist deshalb nur sehr eingeschränkt möglich.

### 3.3.5 Konsequenzen für die Hersteller

Hersteller kaufen einen großen Teil der Fahrzeug-Grundfunktionen zu und bekommen sie als Einheiten aus Software und Hardware zugeliefert, die nicht verändert werden können. Um sich gegenüber den Wettbewerbern zu differenzieren, müssen sie darum zunehmend Funktionen über mehrere Steuergeräte hinweg realisieren. Das ist aufwendig, langwierig und teuer, bedingt vor allem durch den hohen Integrationsaufwand neuer Funktionen in die bestehende Architektur. Dazu kommt die Zunahme funktionaler Abhängigkeiten und Vernetzungen, die wiederum zu mehr unbeabsichtigten Wechselwirkungen (Feature Interactions) führen. Das alles zusammen macht einen erhöhten Testaufwand notwendig. Standards, zum Beispiel AUTOSAR für eine steuergeräte-übergreifende Plattformarchitektur, stehen erst am Anfang. Wenn sie überhaupt verwendet werden, dann als technische Plattformen ohne starke Separierung der Funktionen. Das wiederum wäre jedoch erforderlich für eine IKT-Architektur, die funktionale Anforderungen angemessen abdecken kann.

Die heutige starre IKT-Architektur macht es nahezu unmöglich, neue Funktionen nach Auslieferung im Fahrzeug nachzurüsten. Oft werden daher bereits vorhandene Funktionen freigeschaltet, oder die Hardware muss gleich ganz ausgetauscht werden. Dass die Lebensdauer eines Autos mit circa zehn Jahren viel länger als der Innovationszyklus der IKT ist, verschlechtert die Bedingungen für das Nachrüsten von Funktionen zusätzlich.

Moderne Funktionen wie Einpark- oder Fahrassistenz erfordern übergreifende Systeme. Tatsächlich sind die Funktionsgruppen (Antrieb, Fahrwerk, Karosserie, Innenraum etc.) oft sehr stark voneinander separiert, und auch die Zuliefer- und Organisationsstruktur der Hersteller spiegelt diese Separierung wider – ein weiteres Hindernis.

Auch auf die Art und Weise der Kostenkalkulation wirkt sich die stark an Mechanik und Elektrik orientierte Sichtweise aus. Bei den Gesamtkosten von Entwicklungen werden darum insbesondere die hohen Integrationsaufwände oft nicht ausreichend berücksichtigt. Zudem: Weil Entwicklungs-, Produktions- und Gewährleistungskosten getrennt betrachtet werden, lässt sich oft nicht verdeutlichen, wo Einsparungspotenzial besteht. Ein Beispiel für so eine übergreifende Kostenbetrachtung: Wenn in der Entwurfsphase mehr Aufwand getrieben wird, sinkt automatisch der spätere Aufwand für die Gewährleistung.

Und schließlich führt die Hardwarezentrierung der aktuellen IKT-Architektur nicht nur zu einem geringen Maß an Offenheit zwischen den Funktionen im Fahrzeug selbst, sondern sehr stark auch zwischen Funktionen im Fahrzeug selbst und außerhalb („On-board“- und „Off-board“-Funktionen). Gerade diese Offenheit ist jedoch künftig eminent wichtig, wenn es darum geht, die Unfallzahlen zu reduzieren und die Effizienz beim Betrieb von Fahrzeugen zu steigern.

## 3.4 | Wertschöpfungsstruktur

Dieser Abschnitt beginnt mit einer Darstellung des Wertschöpfungsnetzwerks der heutigen Automobilbranche; die einzelnen Wertschöpfungsfunktionen werden anschließend im Überblick vorgestellt. Hier wird deutlich, welchen Anteil die einzelnen Marktteilnehmer an der Wertschöpfung in den jeweiligen Funktionen haben. Entsprechend dem IKT-Fokus

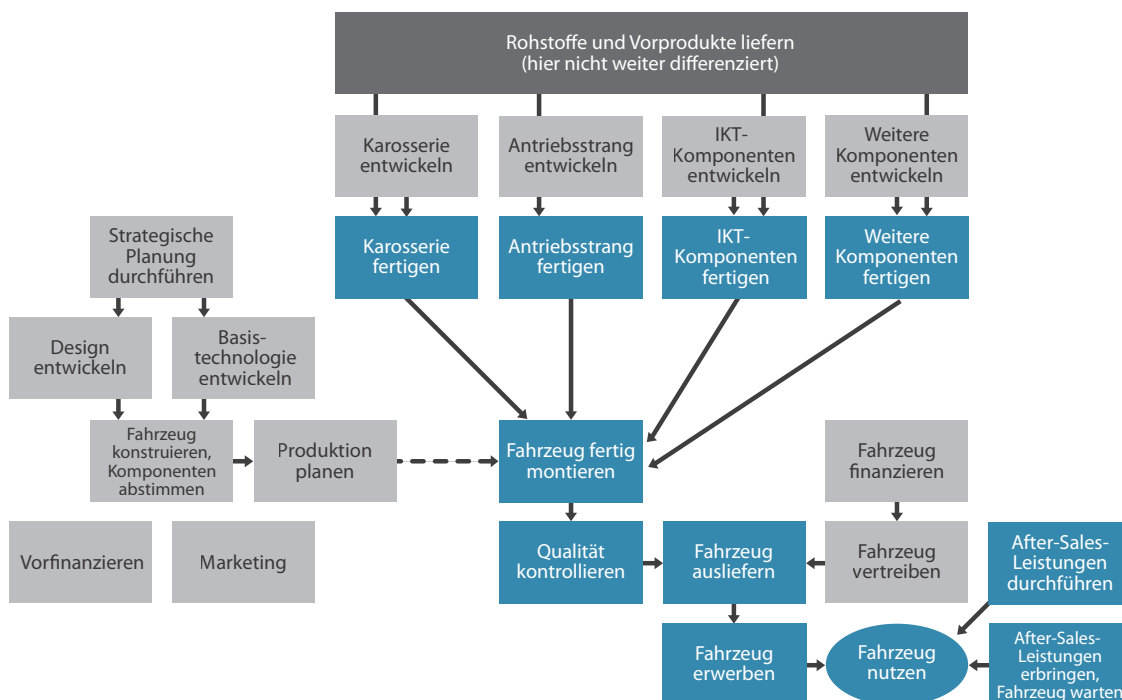
dieses Forschungsvorhabens werden die IKT-bezogenen Funktionen im Anschluss genauer erläutert. Gleichzeitig ergibt sich eine Grundlage für die Darstellung von Wertschöpfungsveränderungen zwischen dem Ist-Zustand und der für 2030 prognostizierten Situation.

### 3.4.1 Das Wertschöpfungsnetzwerk der heutigen Automobilbranche

Das Wertschöpfungsnetzwerk der heutigen Automobilbranche wird hier mittels des Value-Net-Ansatzes von Parolini (1999) dargestellt. Dieser ermöglicht es, die Wertschöpfungsaktivitäten von Marktteilnehmern über Unternehmensgrenzen hinweg darzustellen. Realisierungsaktivitäten, zum Beispiel die Fertigung einzelner

Komponenten, sind mit physischen (Zwischen-)Produkten verbunden. Unterstützende Wertschöpfungsfunktionen, die sich nicht auf ein einzelnes produziertes Fahrzeug beziehen, werden in *Abbildung 8* farblich differenziert dargestellt, sodass sie von den unmittelbaren Realisierungsaktivitäten zu unterscheiden sind.<sup>31</sup>

**Abbildung 8: Das Wertschöpfungssystem der Automobilbranche in Anlehnung an den Value-Net-Ansatz von Parolini<sup>32</sup>**



<sup>31</sup> Eine detaillierte Darstellung der Value-Net-Methode sowie Begriffsklärungen zu Wertschöpfungsketten und -netzwerken befinden sich im Anhang.

<sup>32</sup> Vgl. Parolini (1999), S. 101ff.



## 3.4.2 Wertschöpfungsfunktionen des aktuellen Netzwerks im Überblick

Die in *Abbildung 8* dargestellten Wertschöpfungsfunktionen werden in der folgenden Tabelle im Überblick erläutert. In deren mittlerer Spalte findet sich jeweils die Definition, rechts daneben wird beschrieben, welcher Teilnehmer den Markt für diese Funktion dominiert. Nach diesem Überblick über die einzelnen

Funktionen des aktuellen Wertschöpfungsnetzes der Automobilindustrie liefert der folgende Abschnitt eine detaillierte Betrachtung der Wertschöpfung aller IKT-Komponenten, also von Hardware, Basissoftware und Applikationssoftware.

Funktion	Definition	Situation im Jahr 2010
<b>Strategische Planung durchführen</b>	Entscheidung über Modellpalette und Absatzplanung auf der Basis von Marktanalysen	Die langfristige strategische Planung der Modellreihen gehört zu den Kernkompetenzen der OEMs.
<b>Design entwickeln</b>	Ableitung des äußeren Fahrzeugdesigns aus den Vorgaben der strategischen Planung	Das Design von Automobilen gehört zu den Kernkompetenzen der OEMs.
<b>Basistechnologie entwickeln</b>	Entwicklung von Schlüsseltechnologien, zum Beispiel des Verbrennungsmotors	<p>Zulieferer übernehmen immer stärker die Entwicklung: OEMs spezifizieren eine Technologie und übergeben Anforderungsliste beziehungsweise Lastenheft an direkte Zulieferer (Systemlieferanten, Tier 1), die auf dieser Basis die entsprechende Technologie entwickeln. Systemlieferanten zeichnen sich im Gegensatz zu Modul- oder Teilelieferanten durch hohe eigene Entwicklungsleistungen aus.</p> <p>OEMs entwickeln selbst Technologien, wenn diese zur Differenzierung der Marke beitragen; dazu gehört oft der Verbrennungsmotor als Kernkompetenz. Die Massenfertigung solcher selbst entwickelten Technologien wird jedoch meist auch an Zulieferer übergeben. Die Zusammenarbeit zwischen OEMs und Zulieferern ist sehr eng.</p> <p>Auch Entwicklungsdienstleister (EDL) spielen für Automobilunternehmen eine wichtige Rolle. Manche von ihnen können Teilsysteme beziehungsweise Module vollständig im eigenen Haus entwickeln, vom Lastenheft bis zur Serienreife.</p>
<b>Fahrzeug konstruieren, Komponenten abstimmen</b>	Erstellung des Fahrzeugkonzepts mit Planung der Systemintegration und Abstimmung der Komponenten	Die Konzeptarbeit erfordert Systemkompetenz, eine entscheidende Eintrittsbarriere für neue Marktteilnehmer.
<b>Produktion planen</b>	Planung einer Fertigungslinie, in der das zuvor spezifizierte Auto gebaut werden kann	Diese Funktion ist eine der Stärken der OEMs, da sie bereits über das erforderliche Know-how und über Produktionsstätten verfügen.
<b>Vorfinanzieren</b>	Vorfinanzierung kostenintensiver Modellreihen-Entwicklung und ebensolcher Vorleistungen bei der Fahrzeugproduktion	Die Vorfinanzierung liegt in der Hand der OEMs, die je nach Unternehmensgröße über genügend finanzielle Mittel für diese Aufgabe verfügen.
<b>Marketing</b>	Markt- und kundenorientiertes Denken und Handeln im Unternehmen, zum Beispiel Aktionen für Marketing und Markenaufbau	Das Marketing ist zur Zeit eine Kernkompetenz der OEMs, die über Jahre hinweg mit teilweise sehr teuren Kampagnen starke Marken aufgebaut haben.
<b>Karosserie entwickeln</b>	Design und Entwicklung der Karosserie neuer Fahrzeuge	Diese Funktion, eine Kernkompetenz der OEMs, wird immer wichtiger, etwa durch den Trend zum Leichtbau.

Funktion	Definition	Situation im Jahr 2010
<b>Karosserie fertigen</b>	Produktion der Karosserie	Die Karosserieproduktion gehört gegenwärtig zu den Kernkompetenzen der OEMs, denn sie beherrschen die erforderlichen Techniken (z.B. innovative Schweiß- und Klebetechniken).
<b>Antriebsstrang entwickeln</b>	Entwicklung aller Komponenten, die im Fahrzeug das Drehmoment vom Motor bis auf die Straße übertragen	Der Antriebsstrang eines Verbrennungsmotors mit den Hauptkomponenten Motor und Getriebe ist ein Differenzierungsfaktor für OEMs und wird von ihnen selbst beziehungsweise in Zusammenarbeit mit Zulieferern entwickelt.
<b>Antriebsstrang fertigen</b>	Herstellung der Komponenten des Antriebsstrangs	Die Komponenten des Antriebsstrangs werden nach OEM-Spezifikation von Zulieferern gefertigt.
<b>IKT-Komponenten entwickeln</b>	Entwicklung aller Komponenten für die Informationsverarbeitung und Kommunikation im und am Fahrzeug	Die Wertschöpfungsbeiträge der einzelnen IKT-Komponenten werden in Abschnitt 3.4.3 analysiert.
<b>IKT-Komponenten fertigen</b>	Herstellung informations- und kommunikationstechnischer Hardware	Diese Wertschöpfungsfunktion wird in Abschnitt 3.4.3 analysiert.
<b>Weitere Komponenten entwickeln</b>	Entwicklung aller sonstigen Komponenten eines Fahrzeugs, etwa Kühlung und Bremse	OEMs entwickeln strategisch wichtige Komponenten selbst, Komponenten mit niedrigem Spezifizierungsgrad werden komplett zugekauft.
<b>Weitere Komponenten fertigen</b>	Herstellung aller sonstigen Komponenten eines Fahrzeugs	Diese sonstigen Komponenten werden überwiegend von Zulieferern hergestellt.
<b>Fahrzeug fertig montieren</b>	Ergänzung der Rohkarosserie um alle noch fehlenden Teile	Die Qualitätskontrolle ist eine klassische Aufgabe der OEMs.
<b>Qualität kontrollieren</b>	Sicherstellung, dass das Auto fehlerfrei produziert wurde und allen Anforderungen entspricht	Die Qualitätskontrolle ist eine klassische Aufgabe der OEMs.
<b>Fahrzeug vertreiben</b>	Übergabe an den Vertrieb nach erfolgreicher Qualitätskontrolle	Für den Fahrzeugvertrieb sind Autohäuser zuständig, die zum Teil von selbstständigen Besitzern betrieben werden, zum anderen Teil OEMs gehören.
<b>Fahrzeug ausliefern</b>	Auslieferung an die Endkunden	Händlernetze der OEMs liefern die Fahrzeuge aus.
<b>Fahrzeug finanzieren</b>	Finanzierung über eine Hersteller- oder freie Autobank, über einen Kredit bei der Hausbank oder Leasing	Bei der Fahrzeugfinanzierung gibt es verschiedene Finanzierungs- und Leasingangebote, die sowohl von den OEMs selbst als auch von verschiedenen Dienstleistern angeboten werden.
<b>Fahrzeug erwerben</b>	Fahrzeugkauf durch private und geschäftliche Endkunden oder durch private und öffentliche Flotten	Neben Flottenkunden sind Angehörige der älteren Generation die wichtigsten Fahrzeugkäufer.
<b>Fahrzeug nutzen</b>	Nutzung und Betrieb von Fahrzeugen durch private und geschäftliche Endkunden oder durch private und öffentliche Flotten	Nutzer wollen Fahrzeuge ständig kurzfristig zur Verfügung haben. Deshalb dominieren Eigentum und Leasing; Carsharing hat eine geringe Bedeutung.
<b>After-Sales-Leistungen erbringen, Fahrzeug warten</b>	Service- und Wartungsleistungen sowie Teileverkauf	Diese Leistungen werden durch die OEMs selbst und über Vertragswerkstätten erbracht. Im Jahr 2007 belief sich das Volumen des After-Sales-Markts in Deutschland auf rund 40 Milliarden Euro; rund ein Viertel der Einnahmen und mehr als die Hälfte des Gewinns der Autohersteller. <sup>33</sup>

33) McKinsey & Company (2007), S. 5

## 3.4.3 Im Detail: Wertschöpfungsfunktionen mit IKT-Bezug

Die Wertschöpfung bei der Fahrzeugherstellung ist heute geprägt von einer Gliederung, die überwiegend an Steuergeräten orientiert ist. Mechanische und elektronische Komponenten sorgen innerhalb eines fixen Bauraums für die geforderte Funktionalität. Die IKT-Hardware ist in Form von verschiedenen Steuerungsgeräten in den Bauraum des Fahrzeugs integriert.

Die IKT-Basissoftware, zu verstehen als Betriebssystem, das Systemressourcen verwaltet und Basisdienste bereitstellt, fungiert als Umgebung, in der Applikationen ablaufen. Sie nimmt außerdem lokale Regel- und Steuerungsaufgaben wahr beziehungsweise koordiniert räumlich verteilte Funktionalität. Tier-1-Zulieferer, also Unternehmen, die im unmittelbaren Auftrag der OEMs arbeiten, liefern komplette Funktionsmodule inklusive IKT-Hardware und IKT-Software, direkt an die Montagelinie. Diese Module bieten geschlossene Funktionalitäten und werden in das Gesamtsystem Fahrzeug mithilfe von Hardware- und Software-Schnittstellen integriert. Die IKT-Komponenten lassen sich weiter unterteilen in Hardware, Basissoftware und Applikationssoftware. Die Konzeption der IKT-Architektur, das Festlegen von Standards und die Herstellung von IKT-Werkzeugen komplettieren die Wertschöpfungsfunktion.

Die folgenden Abschnitte sind der Definition der IKT-Komponenten im Automobil und der Erklärung ihrer Merkmale gewidmet. Zudem werden die Marktteilnehmer genannt, die den jeweils größten Anteil an der Erstellung dieser Komponenten haben.

### 3.4.3.1 IKT-Hardware

Die aktuelle IKT-Hardware besteht aus einer großen Anzahl von Steuergeräten, die in vielen Varianten im Bauraum des Fahrzeugs verbaut und in das Fahrzeugsystem insgesamt integriert sind. Für sich genommen weist jedes Steuergerät, insbesondere beim Prozessor, nur eine geringe Modellspezifität auf und trägt damit hardwareseitig nur wenig zur Wettbewerbsdifferenzierung und Wertschöpfung bei. Für Standardfunktionen wird eine Art Baukastensystem verwendet, neue Funktionen werden darin häufig noch durch zusätzliche Steuergeräte abgedeckt. Es wird für jede neue Funktion jeweils die kostengünstigste Integrationslösung gewählt, was auf Dauer zu suboptimalen Kosten-

strukturen im Gesamtsystem führen kann. Gegenwärtig stellt sich die Situation am Markt so dar, dass Systemintegratoren der ersten Ebene (Tier 1) die IKT-Hardware in enger Zusammenarbeit mit den OEMs fertigen.

### 3.4.3.2 IKT-Basissoftware

Die Basissoftware ist das Betriebssystem für die Steuerungshardware. Der Markt für eingebettete beziehungsweise Echtzeit-Betriebssysteme wird von 2010 bis 2012 jährlich schätzungsweise um mehr als sieben Prozent wachsen. Angesichts steigender Kosten scheuen OEMs zunehmend das Design, die (Weiter-)Entwicklung und den Support eigener Betriebssysteme und weichen stattdessen auf kommerzielle Plattformen, aus, besonders auf AUTOSAR-Implementierungen. Während Zulieferer von dedizierten Steuergeräten über die Basissoftware oft eigenständig entscheiden können, geben die OEMs bei Steuergeräten, auf denen verschiedene Funktionen integriert werden, meist vor, welche Basissoftware verwendet werden muss.

### 3.4.3.3 Applikationssoftware

Im Zusammenhang mit der IKT-Systemarchitektur in Fahrzeugen versteht man unter Applikationssoftware die Software, die Kernaufgaben erfüllt, zum Beispiel die Motorsteuerung. Dieser Bereich ist wenig standardisiert; Tier-1-Zulieferer bieten individuelle Softwarelösungen mit einer definierten Menge an Schnittstellen zur Abdeckung der jeweils geforderten Systemfunktionen an. Eine hohe Performance ist in diesem Bereich häufig nur durch eine Art der Softwareentwicklung möglich, die genau an die Hardware angepasst ist und dafür sorgt, dass die Software optimal ausgeführt wird.

### 3.4.3.4 Architektur und Standards

Bei der Entwicklung neuer Funktionen wird die existierende Architektur beibehalten und eventuell erweitert. Die Gesamtarchitektur wird nicht optimiert, stattdessen wird ausschließlich lokal optimiert. Die AUTOSAR-Architektur stellt erst einen ersten Schritt zu einem Architektur- und Schnittstellenstandard auf der Ebene der Basissoftware dar. Die Zulieferer haben in dieser Marktsituation gegenwärtig einen relativ breiten Handlungsspielraum, die Unterschiede zwi-

schen den einzelnen Funktionsmodulen hinsichtlich Architektur und Software sind darum recht groß.

#### 3.4.3.5 Software-Entwicklungswerkzeuge

Entwicklungswerkzeuge dienen dem Entwurf und der effizienten Implementierung von Software-Applikationen sowie der Konfiguration der Basissoftware. Während sich für die Software-Implementierung,

-Konfiguration und die Einbindung der Steuergeräte in das Netzwerk zunehmend De-facto-Standards herauskristallisieren, ist gerade der Werkzeugmarkt für die frühen Entwicklungsphasen gegenwärtig sehr heterogen, es gibt also viel Potenzial für Vereinheitlichung und Vereinfachung.

## 3.5 | Aktuelle politische Strategien und Maßnahmen im internationalen Vergleich

Fördermaßnahmen und Strategien zur Entwicklung der Elektromobilität stehen weit oben auf der politischen Agenda führender Industrienationen, wie der

folgende Überblick zeigt. Ein IKT-Bezug ist dabei am stärksten in Europa ausgeprägt.

### 3.5.1 Internationale Strategien und Maßnahmen

#### USA

In ihrem Energy Policy Act von 2005 hatte bereits die Bush-Regierung damit begonnen, den Erwerb von Elektrofahrzeugen zu fördern: Kunden, die zwischen dem 1. Januar 2006 und dem 31. Dezember 2010 ein Hybridfahrzeug kauften, konnten mit einem Steuernachlass statt nur mit einer steuerlichen Absetzbarkeit von bis zu 3.400 US-Dollar rechnen (entspricht circa 2.600 Euro; Umrechnung hier und im Folgenden nach dem Kurs vom Dezember 2010: 1,30 US-Dollar = 1 Euro).

Als Teil des US-Konjunkturprogramms „American Recovery and Reinvestment Act“ (ARRA) von 2009 legte das Energieministerium (Department of Energy, DOE) das „Advanced Technology Vehicles Manufacturing (ATVM) Loan Program“<sup>34</sup> auf. Es umfasst 25 Milliarden US-Dollar und dient der Vergabe zinsgünstiger Kredite an Automobilhersteller und Zulieferer, die in die Entwicklung umweltfreundlicher und elektrischer Fahrzeuge investieren und ihre US-amerikanischen Fabriken dafür umrüsten wollen. Bis zum Frühjahr 2010 waren bereits zwölf Kredite und Kreditbürgschaften in Höhe von rund 19 Milliarden US-Dollar vergeben worden, darunter rund 8,5 Milliarden

US-Dollar für die Förderung der Elektromobilität an Nissan, Ford, Tesla Motors, Tenneco und Fisker Automotive.

Im Rahmen des ARRA verwaltet das DOE darüber hinaus einen 2,4 Milliarden US-Dollar umfassenden Fonds zur Förderung der nächsten Generation elektrischer Fahrzeuge und fortgeschrittener Batterietechnologien. US-Hersteller können aus diesem Fonds Zuschüsse von insgesamt 1,5 Milliarden US-Dollar für die Errichtung von Batterie-Produktionsanlagen abrufen und 0,5 Milliarden US-Dollar für die Produktion anderer Bauelemente für Elektroautos. 400 Millionen US-Dollar sind für die weitere Entwicklung der Lithium-Ionen-Technologie und von avancierten Plug-in-Hybridmodellen in den Jahren 2010 und 2011 vorgesehen.

Darüber hinaus stellt die Bundes-Steuerbehörde der USA („Internal Revenue Service“, IRS) Käufern von batteriebetriebenen Autos Steuergutschriften in Höhe von 2.500 bis 7.500 US-Dollar in Aussicht; die Zusage gilt auch für Hybridfahrzeuge.<sup>35</sup> Der Absatz von Hybrid- beziehungsweise reinen Elektrofahrzeugen in den USA steigt seitdem kontinuierlich. Das

<sup>34</sup> [http://lpo.energy.gov/?page\\_id=43](http://lpo.energy.gov/?page_id=43) [Stand: 2010 11 27]

<sup>35</sup> IRS (2010), <http://www.irs.gov/businesses/article/0,,id=214841,00.html>

von Präsident Obama ausgegebene Ziel, dass bis zum Jahr 2015 eine Million elektrisch betriebener Fahrzeuge auf den Straßen der USA unterwegs sind, erscheint realistisch.

## Japan

Das japanische Ministerium für Wirtschaft, Handel und Industrie (METI) veröffentlichte im März 2008 sein „Cool Earth-Innovative Energy Technology Program“. Darin werden 21 innovative Technologien benannt, deren Erforschung und Entwicklung in Japan mit höchster Priorität vorangetrieben werden sollen, um die Emission von Treibhausgasen bis 2050 um die Hälfte zu reduzieren. Drei dieser Technologien sind Elektrofahrzeuge, Brennstoffzellen-Fahrzeuge und intelligente Transportsysteme.<sup>36</sup>

Die Meilensteine der Entwicklung von Elektrofahrzeugen definiert das METI nach technologischen Kriterien, nicht etwa nach Absatzzahlen. Im Vordergrund der Strategie steht die Entwicklung von Batterien als zentralen Komponenten von Elektrofahrzeugen. Schon heute dominieren japanische Unternehmen, allen voran Sanyo und Sony, den Weltmarkt für Lithium-Ionen-Batterien.

Bis 2015, das sieht die Roadmap des METI vor, sollen Batterien 50 Prozent mehr leisten als 2008, aber nur noch ein Siebtel kosten. Die Reichweite pro Ladung soll dann bei 150 Kilometern liegen. 2050 sollen Batterien das Siebenfache der heutigen Leistung bringen – für 2,5 Prozent des heutigen Preises. Die Reichweite soll dann 500 Kilometer betragen.

## Volksrepublik China

China ist schon heute der zweitgrößte Automobilmarkt der Welt und wird voraussichtlich 2030 die USA an der Spitze abgelöst haben.<sup>37</sup> Bereits im Januar 2010 wurden erstmals in China in einem Monat mehr Autos verkauft als in jedem anderen Land der Erde, wenn auch wohl nur vorerst aufgrund von Sondereffekten.

China verspricht sich in dreifacher Hinsicht viel von der Elektromobilität:

- Elektroautos können helfen, die Abhängigkeit Chinas von Ölimporten zu überwinden (China ist der zweitgrößte Ölverbraucher weltweit).
- Elektrofahrzeuge können die Emissionen in den Städten deutlich reduzieren.
- Die Elektromobilität kann dem Land ein neues Geschäftsfeld erschließen und es zu einem weltweit

konkurrenzfähigen Produzenten von Automobilen machen.

Bei den ausgereiften konventionellen Antrieben kann China Deutschland und andere führende Automobilproduzenten der Welt nicht einholen. Im jungen Bereich der Elektroantriebe besteht diese Chance aber sehr wohl. Deswegen legt China derzeit, so die Autoren einer McKinsey-Studie im Oktober 2008, „leise und unauffällig die Fundamente, um zu einem globalen Herausforderer in dieser eben erst entstehenden Industrie zu werden“<sup>38</sup>.

Die Grundlage dieses Bestrebens der chinesischen Regierung ist ihr „Automotive Industry Readjustment and Revitalization Plan“<sup>39</sup> vom März 2009, dessen zeitlicher Horizont sich zunächst kurzfristig auf die Jahre bis 2011 erstreckt. Zu seinen wichtigsten Primärzielen zählt, neben der Entwicklung energieeffizienter, umweltfreundlicher „New-Energy“-Autos, diese unter der immer mobiler werdenden Bevölkerung populär zu machen. Daraus leiten sich unter anderem folgende strategische Ziele ab:

- die Produktion von 500.000 Elektroautos im Inland bis 2011, sodass deren Anteil am Autoverkauf in China dann fünf Prozent beträgt;
- die Unabhängigkeit in Schlüsseltechnologien, sodass die chinesische Industrie die Komponenten der „New Energy Vehicles“ eigenständig auf internationalem Qualitätsniveau produzieren kann;
- der Aufbau eines intelligenten Verkehrsleitsystems und einer Infrastruktur für Elektroautos.

Dazu plant die chinesische Regierung, in den nächsten zehn Jahren 100 Milliarden Yuan (circa elf Milliarden Euro) für die Förderung von Elektro- und Hybridfahrzeugen, deren Batterien auch über Stromnetze geladen werden („Plug-in-Hybride“) aufzuwenden. Diese Ziele sind im Einklang mit der zentralen industriepolitischen Maxime des 2006 verabschiedeten elften Fünf-Jahres-Plans: der chinesischen Volkswirtschaft eine vom Rest der Welt „unabhängige Innovation“ zu ermöglichen. Um diese Ziele zu erreichen, stellt sich China konkrete Aufgaben, zu denen passgenaue Zusammenschlüsse und Unternehmensübernahmen in China und Übersee gehören, aber auch die Stärkung der heimischen Produktentwicklung, besonders bei Energiemodulen und Batterien. Chinesische Batterieproduzenten spielen bereits heute eine bedeutende Rolle: BYD Co. Ltd oder die Thunder Sky Energy Group etwa; Letzere liefert Batterien für elektrisch be-

36) METI (2008), <http://www.meti.go.jp/english/newtopics/data/pdf/031320CoolEarth.pdf>, S. 20-25

37) Gao, Wang, Wu (2008), S. 1 (eigene Übersetzung)

38) Gao, Wang, Wu (2008), S. 1 (eigene Übersetzung)

39) [http://www.gov.cn/zwgc/2009-03/20/content\\_1264324.htm](http://www.gov.cn/zwgc/2009-03/20/content_1264324.htm)



triebene Busse in die USA sowie nach Japan, Italien und Finnland. Mit großem Fleiß sind chinesische Unternehmen seit Jahren damit beschäftigt, alle Technologien zu erlernen und zu beherrschen, die für die Produktion von Elektroautos notwendig sind, von der Software-Integration über Design und Serienfertigung bis hin zur Kostenkontrolle.

Um den einheimischen Kunden einen Anreiz zum Kauf von Elektroautos zu geben, subventioniert das Ministerium für Wissenschaft und Technologie der Zentralregierung zahlreiche Projekte mit einem Gesamtvolumen von umgerechnet rund 3,3 Milliarden Euro. Zehn chinesische Städte und deren Einzugsgebiete sind als Pilotregionen für die Erprobung der Elektromobilität ausgewählt worden. In ihnen wird auch eine öffentliche Infrastruktur zum Aufladen erprobt, zum Beispiel in Parkhäusern. Im öffentlichen Nahverkehr, in Taxifлотten und bei Logistikunternehmen sollen in Zukunft vorrangig Elektrofahrzeuge eingeführt werden. Taxen machen mehr als drei Prozent der derzeit 30 Millionen Fahrzeuge Chinas aus. Außerdem werden sie 20-mal so häufig benutzt wie in Deutschland und sind deshalb ein besonders effektives Test- und Popularisierungsfeld.

Nach dem Willen der chinesischen Zentralregierung sollen bereits 2012 zehn Prozent aller Fahrzeuge in China mit alternativen Antrieben unterwegs sein. Bewusst steuert die Regierung dafür auch die Einigung auf industrieweite Standards für Schlüsselkomponenten von Elektrofahrzeugen und deren Implementierung. Diese würden schnell für alle beteiligten Unternehmen die Eintrittsschwelle in den potenziell riesigen chinesischen Markt senken und könnten, zum Wohl der chinesischen Wirtschaft, auch international ausstrahlen.

### Südkorea

Trotz der von Präsident Lee Myung-Bak am 15. August 2008 angekündigten Vision „Low Carbon, Green Growth“<sup>40</sup>, wonach 27 Schlüsseltechnologien in den kommenden Jahren gefördert werden, hat die Regierung in Sachen Elektroautos bis jetzt nicht viel getan. Es wurde lediglich das Ziel formuliert, bis 2015 eine Million davon im Land zu haben. Erste Schritte sind die Einrichtung von mehr als 100 Ladestationen für Elektroautos in Seoul bis Ende 2010 sowie ein Abkommen zwischen der Stadtverwaltung und einigen großen Einzelhandelsunternehmen, wonach deren Kunden ihre Fahrzeuge an dort aufgestellten Stationen kostenlos aufladen können.

### Indien

Die indische Regierung hat keine Förderprogramme für die Elektromobilität aufgelegt. Indien mangelt es akut an Infrastruktur: Weder ausreichend gute Straßen noch eine verlässliche Stromversorgung sind vorhanden. Für die Elektromobilität bedeutet das Chance und Hemmnis gleichermaßen. Denn wenn es gelingt, Ausbau und Modernisierung der Infrastruktur mit einer Verbreitung von Elektroautos zu verbinden, könnte Indien einen großen Vorsprung erreichen.

### Frankreich

Der nationale Entwicklungsplan „Pacte Automobile“<sup>41</sup> will mit einem Fördervolumen von insgesamt etwa 2,2 Milliarden Euro erreichen, dass im Jahr 2020 zwei Millionen Elektrofahrzeuge (einschließlich Plug-in-Hybriden) in Frankreich zugelassen sind. Darüber hinaus unterstützt die Regierung den Aufbau von einer Million Ladestationen für Elektrofahrzeuge bis 2015 mit einer Summe von 1,5 Milliarden Euro. Mit 125 Millionen Euro subventioniert sie den Bau einer Produktionsfabrik für Lithium-Ionen-Batterien, in die Renault insgesamt 625 Millionen Euro investiert. Mit einer Prämie von 5.000 Euro schafft die Regierung Anreize für den Kauf von Autos, die weniger als 60 Gramm Kohlendioxid pro Kilometer ausstoßen. Im Rahmen des Projekts „Autolib“ sollen im Großraum Paris von Herbst 2010 an Elektro-Mietautos in einer relativ großen Dichte angeboten werden; 3.000 Fahrzeuge sind vorgesehen.<sup>42</sup> 6.000 Elektrosäulen zum Aufladen dieser Wagen wird die Stadtverwaltung subventionieren.

### Großbritannien

Das „Low Carbon Vehicle Programme“<sup>43</sup> der britischen Regierung fördert die Erforschung und Entwicklung von Schlüssel- und Teilkomponenten für Elektro- und Hybridfahrzeuge. Staatliche Kaufzuschüsse sollen die Kunden zum Kauf der ersten Elektro- und Plug-in-Hybridfahrzeuge animieren. Eingeplant sind Förderprämien in Höhe eines Viertels vom Auto-Kaufpreis, die jedoch bei 5.000 Britischen Pfund (entspricht circa 5.900 Euro; Umrechnung hier und im Folgenden nach dem Kurs vom Dezember 2010: 0,85 Britische Pfund = 1 Euro) gedeckelt sind. Das Kaufanreiz-Programm umfasst 250 Millionen Britische Pfund, die ab 2011 bereitgestellt werden. Gleichzeitig setzen die Briten das „Low Carbon Van Procurement Programme“<sup>44</sup> um: Mit 20 Millionen Britischen Pfund, die man um zusätzlich 30 Millionen erweitern könnte, fördern sie die Ausstattung öffentlicher Flotten.

40) <http://www.unep.org/greeneconomy/PresidentLeeofKorea/tabid/3389/language/en-US/Default.aspx>

41) <http://www.gouvernement.fr/gouvernement/le-pacte-automobile>

42) <http://www.autolib.fr/autolib/>

43) <http://www.dft.gov.uk/pgf/scienceresearch/technology/lowcarbonelecvehicles/>

44) <http://www.lcvpp.org.uk/>

## Europäische Union

Als einen wesentlichen Teil ihres im November 2008 veröffentlichten „European Economic Recovery Plan“ hat die Europäische Kommission die „Green Cars Initiative“<sup>45</sup> ins Leben gerufen. Diese wird von der Europäischen Investitionsbank und von Zusatzmitteln des 7. Forschungsrahmenprogramms getragen, umfasst ein Budget von insgesamt fünf Milliarden Euro und soll als Public-Private-Partnership von fünf beteiligten Direktoren der Europäischen Kommission und der Industrie umgesetzt werden. Vorgesehen ist außerdem eine enge Verknüpfung mit entsprechenden Programmen der EU-Mitgliedsstaaten. Die Förderung der Elektromobilität spielt in diesem Programm eine herausgehobene Rolle: Im Jahr 2020 sollen insgesamt fünf Millionen Elektro- und Hybridfahrzeuge in der EU zugelassen sein. Das Forschungsprogramm weist einen starken IKT-Fokus zur Förderung von intelligenten Fahrzeugen und von Mobilitätsdiensten auf.<sup>46</sup> Gleichzeitig schreibt die europäische Gesetzgebung eine signifikante Verringerung der gesamten europäischen Pkw-Neuwagenflotte vor: Ab

2015 soll der Zielwert von 130 g CO<sub>2</sub>/km nicht überschritten werden. Die Regelung tritt 2012 stufenweise in Kraft. 2020 erfolgt eine Verschärfung des Zielwertes. Zur Diskussion steht ein Wert von 95 g CO<sub>2</sub>/km.

Dieser Wert würde eine Reduktion um fast 40 Prozent gegenüber 2007 bedeuten. Die Europäische Union verlangt von ihren Mitgliedsstaaten ein einheitliches Vorgehen in Sachen Elektromobilität und fordert sie auf, Alleingänge zu vermeiden. Standards für Ladestecker sollen bis Ende 2011 entwickelt sein. Ziel der Standardisierungsbemühungen ist es, einen internationalen Standard zu entwerfen, der gewährleistet, dass das Laden von Elektrofahrzeugen hersteller- und länderübergreifend sicher und zuverlässig funktioniert. Die europäischen Standardisierungsgremien CEN und CENELEC wollen bis zum 31. März 2011 einen ersten Bericht vorlegen. Daneben ist eine europaweite Abstimmung der Kaufanreize in Vorbereitung; auch sollen einheitliche Standards für die erlaubte Intensität staatlicher Förder- und Subventionsmaßnahmen erarbeitet werden.

## 3.5.2 Maßnahmen der Politik in Deutschland

Die Förderung der Elektromobilität gehört zu den Eckpunkten des 2007 beschlossenen „Integrierten Energie- und Klimaprogramms“ (IEKP) der Bundesregierung. In ihrem gemeinsam vom Bundeswirtschafts- und Bundesumweltministerium erarbeiteten Energiekonzept vom September 2010 hat die Bundesregierung die im IEKP formulierte Strategie fortgeschrieben, präzisiert und in neun Punkten für eine „umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“ zusammengeführt. Einer dieser neun Punkte trägt den Titel „Herausforderung Mobilität“.<sup>47</sup>

Den Vorgaben des IEKP folgend, verabschiedete das Bundeskabinett im August 2008 den „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“ (NEE) mit dem Ziel, innerhalb der zweiten Dekade dieses Jahrhunderts „die Forschung und Entwicklung, die Marktvorbereitung und die Markteinführung von batterieelektrisch betriebenen Fahrzeugen in Deutschland voranzubringen“<sup>48</sup>. Bis zum Jahr 2020 soll Deutschland sowohl der Leitmarkt als auch der Leitanbieter für Elektromobilität werden, mit einer Zahl von mindestens einer Million zugelassener Elektroautos und einer halben Million Brennstoffzellen-Fahrzeugen. 2030 sollen dann bereits fünf Millionen Elektroautos in Deutschland

zugelassen sein. Einige Quellen prognostizieren sogar sechs Millionen Fahrzeuge.<sup>49</sup>

Der NEE ist mit Fördergeldern aus dem Konjunkturpaket II in Höhe von 500 Millionen Euro aus vier beteiligten Bundesministerien – für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), für Bildung und Forschung (BMBF), für Umwelt (BMU) sowie für Wirtschaft und Technologie (BMWi) – ausgestattet, davon entfallen 115 Millionen Euro auf die acht Modellregionen (siehe unten). Der Entwicklungsplan erstreckt sich ausschließlich auf Elektrofahrzeuge, deren Ladung vom Stromnetz abhängig ist. Gefördert werden also batteriebetriebene Autos, Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung und Plug-in-Hybridfahrzeuge, nicht aber Hybrid- und Brennstoffzellen-Fahrzeuge. Die Schwerpunkte des NEE liegen auf der Batterietechnik und auf elektrischen Antrieben, wobei sich die Forschung auf die Entwicklung neuer Systemansätze unter den Aspekten Energieeffizienz, Sicherheit und Zuverlässigkeit konzentriert. Die Fördergelder müssen bis Ende 2011 abgerechnet worden sein.

Die Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Technologie wird seit Februar 2008 in einem speziellen „Natio-

45) <http://www.green-cars-initiative.eu/>

46) [http://cordis.europa.eu/fp7/ict/intelligent-vehicles/home\\_en.html](http://cordis.europa.eu/fp7/ict/intelligent-vehicles/home_en.html)

47) <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/Energiekonzept/auftakt.html>

48) <http://www.bmbf.de/de/13886.php>

49) <http://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Energiekonzept/Mobilitaet/mobilitaet.html>

nen Innovationsprogramm Wasserstoff“ (NIP)<sup>50</sup> erforscht. Dessen finanzielle Ausstattung beträgt rund 1,4 Milliarden Euro bis 2016, je zur Hälfte bereitgestellt von der öffentlichen Hand und der „Clean Energy Partnership“, einem Zusammenschluss von 13 Auto-, Technologie-, Mineralöl- und Energiekonzernen. Die NIP-Aktivitäten werden von der „Nationalen Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Technologie“ (NOW GmbH) koordiniert, deren Gesellschafter die Bundesrepublik Deutschland ist, vertreten durch ihr Ministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS).

Seit Juni 2009 steuert die NOW auch das Förderprogramm „Modellregionen Elektromobilität“ der Bundesregierung. Es gibt acht Modellregionen: Berlin-Potsdam, Bremen-Oldenburg, Hamburg, München, Rhein-Main, Rhein-Ruhr, Sachsen und Stuttgart.<sup>51</sup> 150 Einzelprojekte innerhalb dieser Regionen werden zwischen 2009 und 2011 vom Bund mit einer Gesamtsumme von 115 Millionen Euro aus den NEE-Mitteln gefördert. Private Investitionsmittel in gleicher Höhe kommen hinzu. In diesen Modellregionen fördert die Bundesregierung Projekte, die unter realen Bedingungen die Alltagstauglichkeit von Elektrofahrzeugen und deren Ladeinfrastruktur testen. Dabei geht es auch um die Integration von Herstellern, Kunden und öffentlichem Personennahverkehr sowie um einen Erkenntnisgewinn in Bezug auf das Nutzerverhalten. Auf diese Weise soll der Markt für Elektrofahrzeuge vorbereitet werden; nach einer Phase der Markteinführung ist bis 2020 die Marktdurchdringung geplant. Aufgrund seiner günstigen Forschungs- und Industrielandschaft und seiner verdichteten Siedlungsstrukturen verfügt insbesondere Nordrhein-Westfalen über hervorragende Voraussetzungen, zwischen Rhein und Ruhr eine der ersten großräumigen Modellregionen Europas zu realisieren. Die nordrhein-westfälische Landesregierung hat eigens einen „Masterplan E-Mobilität“ aufgelegt, der vom Land mit 60 Millionen Euro und von der NRW-Bank mit 20 Millionen Euro finanziert wird. Sein Ziel ist es, bis 2020 allein in Nordrhein-Westfalen 250.000 Elektroautos in Betrieb zu nehmen.<sup>52</sup>

Zwischen 2009 und 2011 läuft überdies das gemeinsam von Bundeswirtschafts- und Bundesumweltministerium getragene Förderprogramm „IKT für Elektromobilität“.<sup>53</sup> Es umfasst sieben Projekte mit insgesamt 47 beteiligten Unternehmen und wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen, die prototypische und wirtschaftlich umsetzbare Lösungen für den Einsatz von

Informations- und Kommunikationstechnologien für die Elektromobilität entwickeln.

Das Investitionsvolumen beträgt 100 Millionen Euro, von denen je die Hälfte von den beiden Ministerien und von den Konsortialpartnern getragen wird. Die sieben Projekte heißen „eE-Tour Allgäu“ (effiziente Elektromobilität und Tourismus), „e-mobility – IKT-basierte Integration der Elektromobilität in die Netzsysteme der Zukunft“ in der Region Rhein-Ruhr, „Future Fleet – Einbindung von Elektrofahrzeugen in betriebliche Fahrzeugflotten“ in der Region Rhein-Neckar, „Gridsurfer – Inter-urbane Integration von Elektrofahrzeugen in Energiesysteme inklusive Batteriewechselkonzept“ im Gebiet Weser-Ems, „Harz.EE-Mobility – Einsatz der Elektro-Mobilität vernetzt mit dem RegModHarz-Projekt“, „MeRegioMobil – Minimum Emissionen Regionen Mobil“ im Bereich Stuttgart/Karlsruhe und „Smart Wheels – Intelligente Elektromobilität in der Modellregion Aachen“. Ein besonderes Merkmal dieses Förderprogramms ist die Begleitforschung, die sich neben dem Monitoring, Controlling und Wissensmanagement der Projekte in drei Fachgruppen mit Normen und Standards, Datenschutz und weiteren relevanten Rechtsfragen von „IKT für Elektromobilität“ beschäftigt.

Fünf private und öffentliche Vertreter deutscher Forschung (Deutsche Telekom, Siemens, Daimler, die Fraunhofer-Gesellschaft und die Technische Universität Berlin) gründeten im Juli 2006 in einer Public-Private-Partnership das „European Center for Information and Communication Technologies“ (EICT)<sup>54</sup>, zu dessen Schwerpunkten die Suche nach IKT-Lösungen für die Fahrzeuge der Zukunft zählt. Drei aktuelle EICT-Projekte unterstreichen beispielhaft dessen führende Rolle auf diesem Gebiet: „simTD“ (Sichere Intelligente Mobilität – Testfeld Deutschland: ein vierjähriger Feldversuch für Car-to-Car und Car-to-Infrastructure), „PRE-DRIVE 2CX“ (PREparation for DRIVING Implementation and Evaluation for C-to-X communication technology: Feldversuch für Kommunikations-Technologien und integriertes Simulationsmodell für kooperative Systeme), „euroFOT“ (large scale European Field Operational Test on Active Safety Systems: smart drive: ein europaweiter Test von systemischer Sicherheitsintelligenz im Fahrzeug).

Um den NEE umzusetzen und weiterzuentwickeln, wurde am 1. Februar 2010 die „Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung“ (GGEMO)<sup>55</sup> gegründet. Ihr gehören, unter Leitung

50) <http://www.now-gmbh.de/uploads/media/Innovationsprogramm.pdf>

51) <http://www.now-gmbh.de/elektromobilitaet/modellregionen.html>

52) [http://www.autocluster.nrw.de/fileadmin/images/PDF/Masterplan\\_NRW\\_Elektromobilitaet.pdf](http://www.autocluster.nrw.de/fileadmin/images/PDF/Masterplan_NRW_Elektromobilitaet.pdf)

53) <http://www.ikt-em.de/de/modellregionen.php>

54) <http://www.eict.de/>

55) <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Presse/pressemitteilungen.did=329290.html>

des BMVBS, Vertreter des BMWi, des BMU und des BMBF an. Die GGEMO organisierte am 3. Mai 2010 ein Spitzentreffen im Bundeskanzleramt, bei dem unter Vorsitz von Bundeskanzlerin Merkel die „Nationale Plattform Elektromobilität“ (NPE)<sup>56</sup> als Beratergremium der Bundesregierung aus der Taufe gehoben wurde. Auf dieser Plattform finden sich Repräsentanten und Experten aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik zusammen, um in sieben Arbeitsgruppen einen erfolgreichen Einstieg in die Elektromobilität Wirklichkeit werden zu lassen. Diese jeweils etwa 20-köpfigen Arbeitsgruppen widmen sich den Themen Antriebstechnologie, Batterietechnologie, Ladeinfrastruktur und Netzintegration, Normung, Standardisierung und Zertifizierung, Materialien und Recycling, Nachwuchs und Qualifizierung sowie den Rahmenbedingungen.<sup>57</sup>

Dem Lenkungskreis der NPE gehören insgesamt 23 Mitglieder an. Den Vorsitz haben aufseiten der Industrie der ehemalige SAP-Chef Henning Kagermann (acatech) und aufseiten der Politik die Staatssekretäre Rainer Bomba (BMVBS) und Jochen Homann (BMW). Obwohl die Studie explizit darauf hinweist, dass „die verstärkte Einbindung der Informations- und Kommunikationstechnologien erforderlich“ ist, fehlt gegenwärtig eine Arbeitsgruppe, die sich mit IKT befasst; lediglich eine Beschreibung und Bewertung der IKT-Aspekte wird in Aussicht gestellt.<sup>58</sup>

56) <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2010/05/2010-05-03-elektromobilitaet-erklaerung.html>

57) [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nat\\_plattform\\_elektromobilitaet\\_ags\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nat_plattform_elektromobilitaet_ags_bf.pdf)

58) [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nat\\_plattform\\_elektromobilitaet\\_lenkungskreis\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nat_plattform_elektromobilitaet_lenkungskreis_bf.pdf)

## KAPITEL 4

# IKT-Architektur im Jahr 2030

In diesem Kapitel geht es darum, wie einerseits eine Informations- und Kommunikationstechnologie-Architektur (IKT-Architektur) für Kraftfahrzeuge und andererseits ein Szenario für ihre Einführung bis zum Jahr 2030 aussehen könnten. Zunächst werden die Auswirkungen gesellschaftlicher Trends auf die IKT-Architektur untersucht. Danach geht es um die Frage, welche technologischen Trends die Architekturentwicklung treiben beziehungsweise wie

wahrscheinlich es überhaupt ist, dass die benötigten Technologien zur Umsetzung der gesellschaftlichen Trends rechtzeitig zur Verfügung stehen. Erfahrungen aus anderen Industriebereichen werden bewertet, um Rückschlüsse auf mögliche Veränderungen zu ermöglichen. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wird dann eine mögliche Entwicklung der Architektur dargestellt. Abschließend werden deren wesentliche Eigenschaften diskutiert.

## 4.1 | Auswirkung der gesellschaftlichen Trends auf die IKT-Architektur

Zunächst werden die gesellschaftlichen Trends untersucht und im Anschluss daran die Konsequenzen für die IKT-Architektur erarbeitet. Die gesellschaftlichen Trends und ihre Auswirkungen sind in *Abbildung 9* zusammenfassend dargestellt.

### 4.1.1 Energie-/Kosteneffizienz

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 insbe-

sondere 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 älterer Singles.





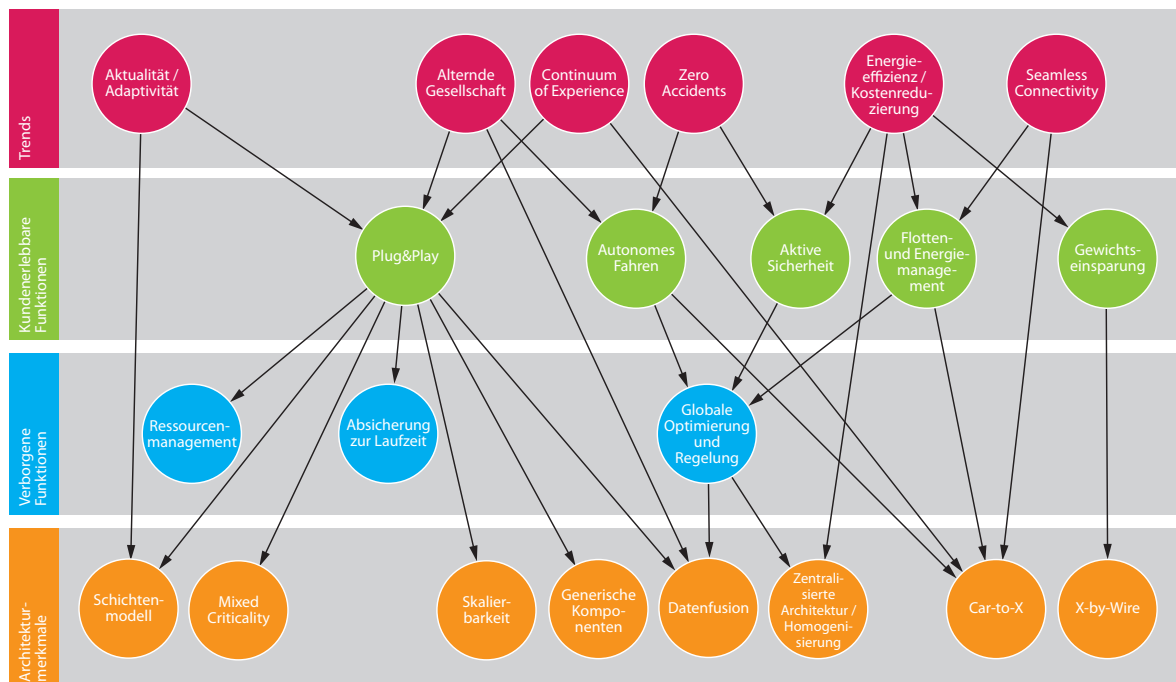
Daraus folgt: Die wesentlichen Kriterien für den Erfolg von Elektroautos sind geringe Herstellungskosten und natürlich eine große Reichweite.

### Auswirkungen auf die IKT-Architektur

Die Reichweite kann bei gleicher Batteriekapazität vor allem durch zwei Faktoren beeinflusst werden: Gewicht und effizienter Betrieb. Wesentliche Gewichtseinsparungen versprechen sich Experten neben den klassischen

Mitteln wie Leichtbau mit Aluminium oder Karbon durch die Einführung von aktiver Sicherheit: „Schauen Sie sich heute eine Karosserie an, wie viel dort für Sicherheit getan wird. Ein Auto mit aktiver Sicherheit kann viel leichter gebaut werden“, sagt einer der befragten Experten. Eine weitere Gewichtsreduktion verspricht die Übermittlung von Impulsen auf elektronischem (X-by-Wire) statt auf mechanischem Weg: „X-by-Wire und damit der Ersatz von mechanischen Komponenten bieten ein wesentliches Energie-Einsparungspotenzial“, so ein Exper-

**Abbildung 9: Auswirkungen der gesellschaftlichen Trends**



te, der für diesen Bericht befragt wurde. Die Gewichtersparnis gehörte bei gleichzeitiger Homogenisierung der Verkabelung zu den Gründen für die Einführung von „Integrated Modular Avionics“ (IMA; s. 4.3.1 Avionik) als Architekturvorlage für die Luftfahrtindustrie. Auch die geringeren Kosten sprechen für X-by-Wire: Der Antriebsstrang ist in herkömmlichen Fahrzeugarchitekturen eine relativ teure Komponente; wird er durch dezentrale, kleinere und über X-by-Wire koordinierte Antriebe ersetzt, sinken die Kosten insgesamt.

Weitere Spareffekte ergeben sich, wenn statt einer Vielzahl von Steuergeräten im Fahrzeug wenige zentralisierte Recheneinheiten und eine homogenisierte Kommunikationstopologie zum Einsatz kommen. Die Homogenisierung verbilligt den Entwicklungsprozess insgesamt, weil ein geringeres Maß an Expertenwissen aus unterschiedlichen Bereichen für den Aufbau der Architektur nötig ist. Zudem vereinfacht sich in so einer homogenen Kommunikationstopologie der Zugriff auf Sensordaten, wodurch weniger Sensoren benötigt werden: „Heute werden Sensoren nicht selten mehrfach eingebaut, weil es unmöglich beziehungsweise sehr schwierig ist, auf die bereits verbauten Sensoren zuzugreifen“, schildert ein Branchenexperte die Situation. Schließlich werden viel weniger unterschiedliche Steckertypen erforderlich, und der Zeitaufwand zur Verlegung der Kabel sinkt.

### 4.1.2 Treiber für autonome Fahrsysteme: Unfallfreiheit, alternde Gesellschaft und Stauvermeidung

Trendanalysen legen die Annahme nahe, dass künftig mehr gegen Verkehrsunfälle getan werden wird; die Zukunft dürfte eine „Zero Accidents Policy“ sein. Funktionieren kann das jedoch nur, wenn die Zustände fahrender Autos andauernd automatisch überwacht werden und Bordsysteme autonom eingreifen können, sobald ein Unfall zu erwarten ist. In erster Instanz könnten solche Systeme insbesondere Fahrer (Müdigkeit, Ablenkung) und die Umgebung überwachen und in gefährlichen Situationen warnen. In zweiter Instanz wären auch autonome Reaktionen in Gefahrensituationen möglich und dann schließlich das komplett autonome Fahren.

Ein Beispiel für den vollautonomen Betrieb ist das EU-Projekt „HAVE-IT“<sup>60</sup>, in dessen Rahmen VW einen Autopiloten für Autobahnen und autobahnähn-

liche Straßen lässt sich besonders mit einschlägigen Management-Funktionen einsparen. Dabei muss man zwischen „reaktiven“ und „prädiktiven“ Energiemanagement-Funktionen unterscheiden. Mit reaktiven Funktionen wie Start-/Stop-Automatik, Energierückgewinnung (Rekuperation) oder dem automatischen Erkennen unterschiedlicher Fahrerprofile lassen sich bei konventionellen Fahrzeugen etwa zehn Prozent Energie einsparen. Ein deutlich höheres Sparpotenzial bieten prädiktive Funktionen, zum Beispiel Algorithmen zur Verkehrs- und Streckenvorschau, die den Energiebedarf um 28 Prozent senken können.<sup>59</sup> Das gesamte Sparpotenzial lässt sich nur mit einer „kaskadierten“ Regelung abrufen; sie besteht aus lokaler reaktiver und globaler prädiktiver Optimierung. Dafür ist wiederum eine zentralisierte Architektur erforderlich, in Kombination mit einer Strategie-Ebene und einer Datenfusionskomponente, die alle benötigten Daten bereitstellt. Abgerundet wird das Spektrum an Energiespar-Funktionen durch die kontinuierliche, aktuelle Erfassung von Umgebungsdaten („Car-to-X“). Diese verbessert einerseits die Prädiktionsfähigkeit; andererseits nutzt sie die Möglichkeiten übergeordneter Telematikdienste (etwa Parkplatzreservierung oder den nahtlosen Umstieg auf den Öffentlichen Personennahverkehr) voll aus.

liche Straßen bei einer Geschwindigkeit zwischen 0 und 130 km/h einsetzt. Um autonomes, fahrerunabhängiges Fahren (zum Beispiel für Carsharing-Flotten) und automatische Reaktionen zur Unfallvermeidung zu ermöglichen, müssten bestehende Gesetze freilich angepasst werden. Vor allem wäre die Regulierung der UN-Wirtschaftskommission für Europa (UN/ECE), das sogenannte „Wiener Weltabkommen“, aufzuheben, denn sie schreibt vor, dass auf öffentlichen Straßen Fahrzeugführer jederzeit die Hoheit über ihre Fahrzeuge haben müssen. Erst wenn diese Regel nicht mehr gilt, ist es sinnvoll, Autopiloten zu entwickeln und einzusetzen.

Der zweite Treiber für autonome Fahrsysteme: Menschen werden immer älter, und es gibt immer mehr

<sup>59</sup> Prof. Burkhard Göschel, Vortrag 16.06.2008, Ausgewählte Kapitel der Verbrennungskraftmaschinen  
<sup>60</sup> <http://www.haveit-eu.org/>

alte Menschen. Mit autonomen Fahrzeugen könnte diese neue Kundengruppe erschlossen werden; Menschen, die nach heutigen Maßstäben nicht mehr voll fahrtüchtig sind, könnten so noch am individuellen Verkehr teilnehmen. Kraftfahrzeuge müssen an deren Bedarf individuell und flexibel angepasst werden, etwa mit Federungen und Displays, woraus sich Erlöspotenziale für Ausrüster ergeben.

Ein weiterer Treiber für zumindest teilweise Fahrautonomie ist das Ziel, Staus zu vermeiden. Koordiniertes Anfahren an Ampeln kann zum Beispiel den Verkehrsfluss beschleunigen, adaptive Abstandsregelung kann unnötige Bremsmanöver und damit eine häufige Ursache von Staus verhindern.

### **Auswirkungen auf die IKT-Architektur**

Fahrautonomie macht es erforderlich, die Zustände des Fahrzeugs und der Umgebung zu überwachen. Dafür sind zusätzliche Sensoren nötig, und zwar in

Verbindung mit einer geeigneten Sensordaten-Fusion. Dazu bedarf es wiederum einer hochverfügbaren und sicheren IKT-Architektur. Die Fusion der Sensordaten macht es möglich, aus einzelnen Werten komplette Systemzustände zu berechnen. Zum Beispiel ließe sich ermitteln, ob ein Fahrer die Spur wechseln will. Für wirklich autonomes Fahren müssten jedoch alle daran beteiligten Systemkomponenten global geregelt werden; bisher wird so eine globale Regelung kaum umgesetzt, sie ist bislang nur sehr schwer realisierbar.

Aus der Forderung nach einem teil- oder vollautonomen Fahrbetrieb ergibt sich ein starker Trend hin zu X-by-Wire-Systemen. Denn nur solche Systeme machen es möglich, vollautonom auf alle Sensoren und Aktoren zuzugreifen sowie Situationserfassung („Perception“), Berechnung des Bewegungsvektors („Arbitration“) und Umsetzung („Execution“) miteinander zu verzahnen. Ferner müssen alle Komponenten ohne Konfigurationsaufwand eingefügt werden können (Plug-and-Play-Fähigkeit), um das Gesamtsystem flexibel anpassen zu können.

## **4.1.3 Zunehmende Vernetzung**

Es ist wahrscheinlich, dass sich die Automobiltechnik künftig zum rein elektrischen Antrieb hin entwickelt, im Anschluss daran zum vollautonomen Fahrzeug. Das wird zu einer Funktionsvielfalt führen, die über die eigentliche Funktion des Fahrens hinausgeht. Ähnliches ist bei Smartphones bekannt, deren größter Mehrwert nicht mehr im reinen Telefonieren, sondern in zusätzlichen Funktionen besteht. Daraus leitet sich die Frage ab, ob die heute zentrale Funktion von Kraftfahrzeugen, insbesondere in Bezug auf die Wertschöpfung, nämlich der Transport von Personen und Gütern von A nach B, nicht künftig in den Hintergrund tritt. Sicher ist: Das Fahrzeug wird zu einem festen Bestandteil der Infrastruktur und des öffentlichen Raums; es ist deshalb gut vorstellbar, dass es aus der Infrastruktur heraus optimiert und gesteuert wird. Benutzer erwarten von ihrem Fahrzeug in Zukunft sicherlich, dass es direkt in die Infrastruktur eingebunden wird und dass man ständig darauf zugreifen kann.

### **Auswirkungen auf die IKT-Architektur**

Für diese Funktionen ist einerseits ein Energiemanagement notwendig, denn nur damit lassen sich die konträren Ziele – maximale Verfügbarkeit bei mini-

malem Energieverbrauch – vereinen. Andererseits muss das Fahrzeug in das „Internet der Dinge“ eingebettet, also mit anderen Systemen aus dem Alltag intelligent vernetzt werden. Für diese Einbettung sind zwei Kategorien von Anwendungen vorstellbar: Für die erste, etwa die Übertragung von Multimedia-Informationen zum und vom Auto, werden hohe Bandbreiten gebraucht, während die Verfügbarkeit nicht so hoch sein muss und auch die Latenz, also die Verzögerung bei der Signalübertragung, keine so große Rolle spielt. Die zweite Kategorie von Anwendungen bilden sicherheitskritische Systeme, die typischerweise hohe Anforderungen an Verfügbarkeit und Latenz stellen, hinsichtlich der benötigten Netzwerk-Bandbreiten jedoch eher genügsam sind.

## 4.1.4 Continuum of Experience

„Benutzer erwarten in Zukunft ein ‚Continuum of Experience‘“, konstatiert einer der Experten, die für diesen Bericht befragt wurden. Gemeint ist damit die Möglichkeit, ständig mit allen Endgeräten – also vom Handy, vom PC oder aus dem Auto – auf alle Daten zugreifen zu können. Die Daten sollen immer auf die gleiche Weise dargestellt werden, wenn auch angepasst an die jeweiligen Geräte. Beispielsweise will ein iPhone-Besitzer zwar die bessere Lesbarkeit eines fest einge-

bauten Bildschirms im Auto nutzen, sich aber bei der Benutzerführung und Bedienung nicht umstellen.

### Auswirkungen auf die IKT-Architektur

Diese Erwartungshaltung verschafft der Forderung, ständig auf das Internet zugreifen zu können, mehr Gewicht. Noch viel stärker jedoch fördert sie die Notwendigkeit, das Fahrzeug an die Fahrerwünsche anzupassen.

## 4.1.5 Anpassungsfähigkeit und technische Aktualität des Fahrzeugs

Die Lebensdauer eines Fahrzeugs ist wesentlich länger als der Innovationszyklus in der Informations- und Kommunikationstechnik: „Zwischen Design Freeze und Start of Production vergehen im Moment fünf Handygenerationen“, so ein dazu befragter Branchenkenner. Bevor also ein schon sehr weit entwickeltes Automobil in die Fertigung geht, vollziehen sich im Markt für Kommunikationselektronik tief greifende Veränderungen. Das kann nicht so bleiben. In Zukunft erwarten Kunden, dass Fahrzeuge und ihre Funktionen beim Kauf dem Stand der Technik entsprechen und danach noch weiter angepasst werden können. Nachrüstbar sollen Fahrzeuge nicht nur im Infotainment-Bereich sein, wo es um die Unterstützung neuer Kommunikationsstandards geht und darum, neue Geräte einzubinden. Auch moderne Sensorik soll nachgerüstet werden können, etwa in Form automatischer Einparksysteme oder durch nachträgliche weichere Fahrwerksabstimmungen für ältere Personen.

### Auswirkungen auf die IKT-Architektur

Diese Forderung bringt hohe Anforderungen an die IKT-Architektur im Fahrzeug mit sich. Im Prinzip muss – wie in der PC-Technik längst üblich – Plug-and-Play-Funktionalität eingeführt werden, um Funktionen nachladen und Sensorik/Aktorik nachträglich integrieren zu können. Das muss sowohl während des Autodesigns als auch nach der Produktion möglich sein; deshalb braucht die Plattform einen Ressourcenmanager, der sicherstellt, dass für sicherheitskritische Funktionen immer genügend

Ressourcen bereitstehen. Zudem muss es möglich sein, die Applikationen, die einer Funktion zugrunde liegen, vor der Installation auf Zulässigkeit und Kompatibilität zu überprüfen. Besonders wichtig ist das für direkt und indirekt sicherheitskritische Funktionen. Ein mögliches Lösungsszenario könnte so aussehen, dass das IKT-System im Fahrzeug die Integration solcher Funktionen nur dann zulässt, wenn diese über ein Zertifikat von einer qualifizierten Testinstanz verfügen.

Insbesondere zur Unterstützung von neuen Technologien, aber auch zur einfachen Integration von Funktionen sind standardisierte Schnittstellen erforderlich, für Software wie für Hardware. Besonders jene Aktoren und Sensoren, die als Schnittstelle zu sich schnell verändernden Systemen dienen oder sogar Teil davon sind, sollten sehr weitgehend angepasst werden können. Das gilt zum Beispiel für standardisierte Mensch-Maschine-Schnittstellen, etwa berührungssensitive Bildschirme („Touchscreens“), oder für generische Funkmodule („Software Defined Radio“), deren spezifische Funktion durch Softwareanpassungen bei unveränderter Hardware modifiziert werden können. Ein weiteres Mittel, um eine langfristige Erweiterungsfähigkeit sicherzustellen, ist eine skalierbare Rechnerarchitektur, wie sie heute bereits in der Servertechnik verwendet wird.

## 4.2 | Auswirkung der technologischen Trends auf die IKT-Architektur

Neben gesellschaftlichen fördern auch technologische Trends Änderungen der Architektur. Gleichzeitig jedoch können Änderungen durch gesellschaftliche Trends gebremst oder gar verhindert

werden – nämlich dann, wenn adäquate Technologie fehlt. In diesem Abschnitt werden beide Aspekte diskutiert. *Abbildung 10* bietet einen Überblick über die technologischen Treiber.

### 4.2.1 Technologische Treiber

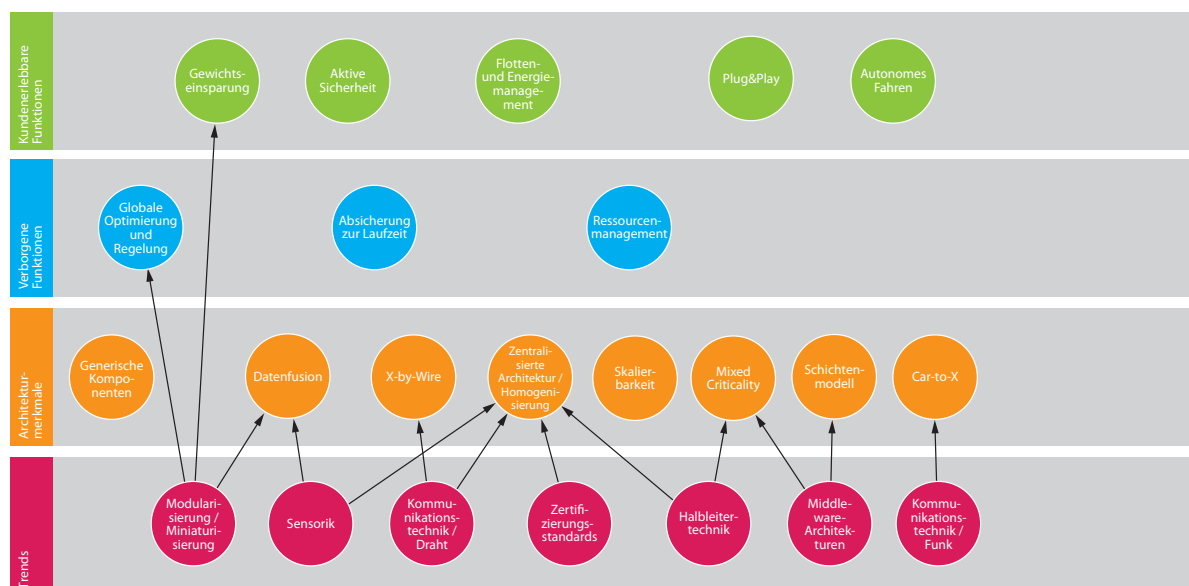
#### 4.2.1.1 Modularisierung aus informationstechnischer Sicht, Miniaturisierung

Seit Beginn des industriellen Automobilbaus werden immer mehr Funktionen auf kleinerem Raum untergebracht und als geschlossene Module gekapselt. Dieser Trend wirkte sich in der Vergangenheit fast ausschließlich auf mechanischer Ebene aus. Seit der Erfindung des Elektromotors und des Transistors vollzieht sich jedoch ein unumkehrbarer Wandel hin zur Elektronik. Ziel dieser Entwicklung ist es, Skaleneffekte zu realisieren, also mehr Funktion zu einem geringeren Preis anbieten zu können. Ultima Ratio ist das Bestreben, Hardware durch Software zu ersetzen,

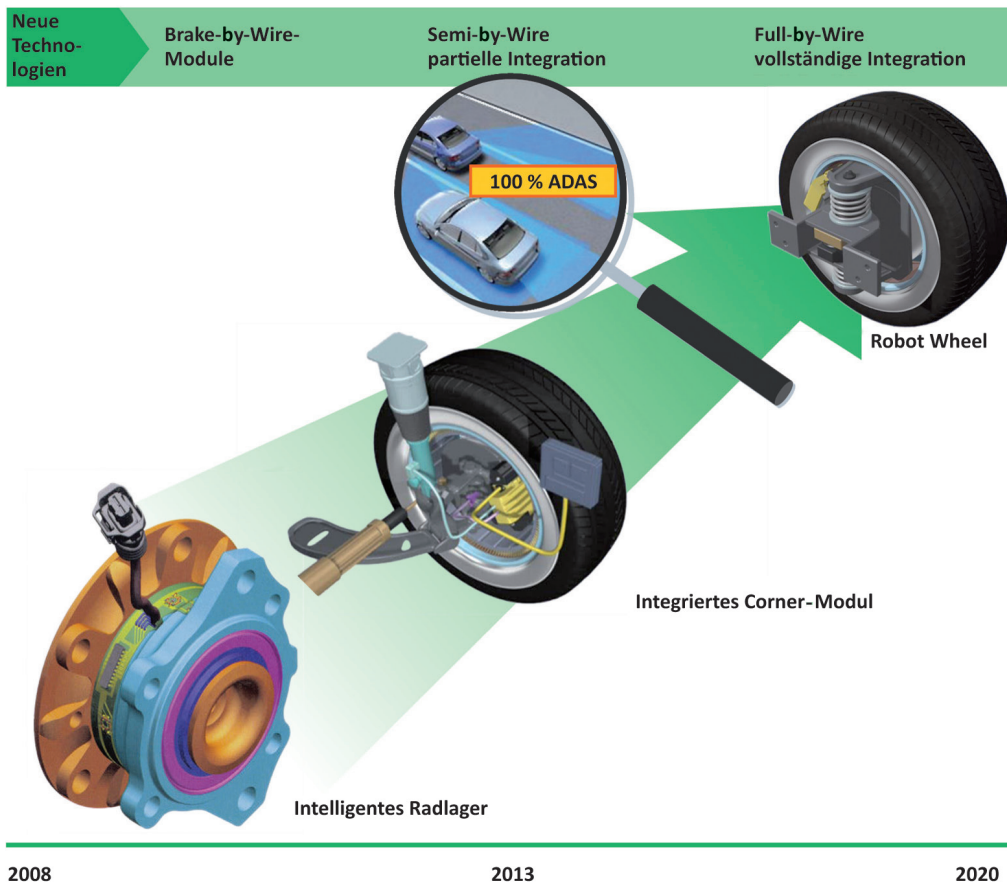
wo immer es sinnvoll ist, weil Software hinsichtlich der Stückkosten normalerweise die stärksten Skaleneffekte aufweist. Außerdem sparen Modularisierung und Miniaturisierung Gewicht.

Ein Beispiel für diese Entwicklung zeigt *Abbildung 11*. Das Ziel sind hier keine klassischen Radnaben-Motoren mehr, sondern in die Räder integrierte, intelligente, also mit Sensorik bestückte Antriebsmodule mit hoher Integrationsdichte. Diese enthalten Wasserkühlung, Leistungselektronik (Module zur Umformung elektrischer Energie, zum Beispiel Gleichrichter) samt Controllern, den Elektromotor, eine

**Abbildung 10: Technologische Treiber von Veränderungen der IKT-Architektur**







**Abbildung 11: Trend von mechanischen Komponenten zu voll integrierten, mechatronischen Komponenten**<sup>61</sup>

Reibungsbremse, etwa nach dem Keilprinzip, sowie passende Lager und Dichtungen. Ähnliche Entwicklungen sind auch für Energiespeicher und leistungselektronische Systeme zu erwarten.

### Auswirkungen auf die IKT-Architektur

In solchen „smarten“ Komponenten werden die mechanischen und elektrischen Komponenten mittels Software bereits mit einer Grundintelligenz ausgestattet, zum Beispiel für die Vorverarbeitung von Sensordaten oder zur internen Regelung. Angesteuert werden die Komponenten über eine Datenschnittstelle; das beschleunigt den Trend zum Einsatz von X-by-Wire. Um die einzelnen Komponenten aufeinander abzustimmen, gilt es, eine globale Regelung zu treffen; durch eine zentrale Rechnerarchitektur ist deren Umsetzung wesentlich einfacher.

### 4.2.1.2 Halbleitertechnik

Die Prozessortechnologie ist durch den Trend zu Systemen mit mehreren Prozessorkernen (Multicore) geprägt; gleichzeitig sinken die Kosten pro Rechenleistungseinheit stetig. Experten prognostizieren einen weiteren Anstieg der Zahl von Prozessorkernen. In Anlehnung an „Moore’s Law“ – Intel-Gründer Gordon Moore prognostizierte im Jahr 1965, dass sich die Prozessorgeschwindigkeit alle 18 Monate verdoppeln würde – sprechen einige Fachleute bereits von „Core’s Law“ und sagen damit eine Verdopplung der Anzahl der Prozessorkerne alle 18 Monate voraus.

Die Standard-IT, also Server, Desktops und Notebooks, ist schon seit längerer Zeit vom Multicore-Trend geprägt. Nun werden Mehrkern-Prozessoren auch in sogenannten „eingebetteten“ Systemen verstärkt eingesetzt. Das liegt zum einen daran, dass Prozessoren, die

<sup>61</sup> Gombert (2010)

etwa in der Flugzeugtechnik verwendet wurden, „abgekündigt“, also nicht mehr beziehungsweise auf längere Sicht nicht mehr hergestellt werden. Aber auch der steigende Rechenbedarf und eine steigende Sensibilität in puncto Energieverbrauch wirken sich aus. Um eine optimale Unterstützung der Software zu erreichen, werden dabei häufig heterogene Multicore-Architekturen beziehungsweise „Multiprocessor-Systems-on-Chip“ (MPSoCs) eingesetzt, die aus Standardprozessoren, digitalen Signalprozessoren (DSPs) und Schaltkreisen mit programmierbaren logischen Schaltungen (Field Programmable Gate Arrays, FPGAs) bestehen. Heutige heterogene Multicore-Architekturen sind unstrukturiert, für die Zukunft ist eine stärkere Strukturierung zu erwarten.<sup>62</sup>

Der Trend bringt jedoch zwei Herausforderungen mit sich. Zum einen können Anwendungen, die auf unterschiedlichen Kernen eines Multicore-Systems laufen, sich gegenseitig, vor allem in ihrem Zeitverhalten, beeinflussen. Das erschwert zum Beispiel die Berechnung der Zeit, die ein Programm höchstens zu seiner Ausführung benötigt („Worst Case Execution Time“, WCET). Zum anderen: Um auf Mehrprozessor-Systemen laufen zu können, muss vorhandene und neu zu entwickelnde Software parallelisiert, also in einer Weise programmiert werden, dass sie auf mehrere Prozessorkerne verteilt ablaufen kann. Die Forschung hat die Probleme erkannt: Mit der ersten Herausforderung befassen sich diverse Forschungsprojekte, etwa ACROSS („ARTEMIS CROSS-Domain Architecture“), PREDATOR („Design for Predictability and Efficiency“), RECOMP („Reduced Certification Costs for Trusted Multi-Core Platforms“). Auch das Parallelisieren von Software ist Gegenstand verschiedener Forschungsprojekte.

Eine weitere Entwicklung bei eingebetteten Systemen ist die zunehmende Verwendung von FPGAs beziehungsweise von anwendungsspezifischen Schaltkreisen („Application Specific Integrated Circuits“, ASICs) und von immer leistungsstärkeren Grafikprozessoren. Diese Technologien weisen besonders bei der Sensordaten-Verarbeitung ein großes Einsatzpotenzial auf. Zudem fallen auch hier und bei der Speichertechnologie die Preise; ebenso ist ein Trend zur Miniaturisierung festzustellen.

## Auswirkungen auf die IKT-Architektur

Durch die Entwicklungen im Bereich der Halbleitertechnik werden einerseits genügend Rechenleistung und Speicherkapazität zu günstigen Preisen verfügbar sein, um Software auf zentralen Rechnern zusammenführen

zu können. Andererseits kann eine geeignete Software-Zwischenschicht (Middleware) die Basis für „Mixed-Criticality-Systeme“ schaffen; das sind Systeme, in denen sicherheitskritische und nicht sicherheitskritische Funktionen auf einem Prozessor laufen. Dabei könnten heterogene Multicore-Prozessoren (siehe oben) inklusive Hardwarebeschleunigern verwendet werden, um die jeweiligen Algorithmen optimal zu unterstützen. Im Sensorikbereich sind es besonders die Technologiesprünge im Bereich der FPGAs beziehungsweise ASICs, welche die Vorverarbeitung von Rohsensordaten direkt auf dem Chip ermöglichen werden.

### 4.2.1.3 Middleware-Technik, App-Techniken

Um den Einsatz modularer Softwarekomponenten und von Apps, zum Beispiel für Smartphones, zu verbessern sowie deren Integration ins Gesamtsystem sicherzustellen, zeichnen sich Trends ab, durch Middleware die Hardware von der Software zu trennen. Anstelle von hardware-spezifischen Schnittstellen bietet die Middleware eine hardware-unabhängige Schnittstelle an. Software kann dann unabhängig von der endgültigen Zielhardware entwickelt, getestet und abgesichert werden.

Middleware-Techniken werden nach ihren Anwendungsbereichen unterschieden: einerseits in verteilten Systemen wie dem Internet (im Rahmen „Service-orientierter Architekturen“, SOAs), andererseits in eingebetteten Systemen. Middleware-Architekturen im SOA-Bereich unterstützen zumeist dynamische Ad-hoc-Kommunikation; eine bestimmte Servicequalität („Quality of Service“, QoS) ist dabei nicht gewährleistet. Im Bereich eingebetteter Systeme wie ARINC 653<sup>63</sup> oder AUTOSAR<sup>64</sup> zeichnet sich Middleware dagegen durch eine statische Zuordnung der Komponenten und ihrer Kommunikation aus; die Entwickler haben dabei die QoS sicherzustellen. Nicht funktionale Eigenschaften, zum Beispiel Leistung, Sicherheit und Zuverlässigkeit, werden erst seit Kurzem und noch nicht ausreichend adressiert. Auch in der Robotik entstehen gegenwärtig Middleware-Architekturen, etwa OROCOS<sup>65</sup> oder Open RTM<sup>66</sup>, die für den Automobilbereich interessant werden könnten. Und schließlich verbreiten sich zunehmend datenzentrierte Middleware-Architekturen, beispielsweise der OMG-Standard Data Distribution Service (DDS).

Laufende Forschungsprojekte und Forschungsvorhaben<sup>67</sup> legen die Erwartung nahe, dass sich SOA- und Robotik-Middleware sowie ARINC, AUTOSAR und DDS vermischen werden. Außerdem dürften Werkzeuge entstehen, die in der Lage sind, nicht funktio-

62) Pierre (2010)

63) ARINC, Avionics Application Software Standard Interface, ARINC Report 653 Part 1–3

64) AUTOSAR, Specification, Release 4.0

65) <http://www.orocos.org/>

66) <http://www.is.aist.go.jp/rt/OpenRTM-aist/>

67) ZVEI (2009)

nale und zeitliche Eigenschaften wie verschlüsselte und zuverlässige Kommunikation automatisiert zu gewährleisten.

Middleware-Architekturen ermöglichen auch die Einführung von „Software-Apps“. Diese Anwendungen werden häufig von Drittanbietern geschrieben und können auf Endgeräte, etwa auf Smartphones, geladen werden, um deren Funktionalität zu erweitern. Bekannt geworden sind Apps durch iPhone und iPad und andere mobile Endgeräte. Ihr Vorteil besteht darin, dass mit ihrer Hilfe der Funktionsumfang jedes einzelnen Geräts auf einfache Weise an individuelle Nutzeranforderungen angepasst werden kann.

Auch im Automotive-Bereich sind erste Schritte in diese Richtung zu erkennen. Schnittstellen werden geschaffen, um Smartphones ins Fahrzeug zu integrieren und so die Infotainment-Funktionalität zu erweitern. Bereits heute sind Anwendungen möglich, mit denen Fahrzeug-Informationen in einem Smartphone weiterverarbeitet werden können; ferner lassen sich nicht sicherheitsrelevante Funktionen von Fahrzeugen über Smartphones steuern.

Ein weiterer wichtiger Technologietrend ist das Thema Open Source. Dabei handelt es sich um Software, deren Quelltext öffentlich zugänglich ist und die im Rahmen von Entwicklungsgemeinschaften („Communities“) weiterentwickelt werden kann, ebenso jedoch in Konsortien, die sich in einer Branche oder Industrie zusammenfinden. Open-Source-Technologien wie das unter Federführung von Google vorangetriebene Mobilgeräte-Betriebssystem „Android“ oder „Genivi“, eine von BMW und einigen Partnern konzipierte Referenzplattform für Infotainment-Systeme in Fahrzeugen, ersetzen auch im Automotive-Bereich und bei eingebetteten Systemen zunehmend proprietäre Technologien.

### Auswirkungen auf die IKT-Architektur

Betrachtet man die Entwicklung bei AUTOSAR, so ist eine zunehmende Berücksichtigung von nicht funktionalen Eigenschaften (zum Beispiel der Fehlertoleranz in der Version 4.0) und von zeitlichem Verhalten (ebenfalls in Version 4.0) zu beobachten. Dieser Trend wird sehr wahrscheinlich weitergehen; Middleware-Architekturen entwickeln sich zur wichtigsten Grundlage für den Aufbau der IKT-Architektur einschließlich einer Datenfusionskomponente und für die Unterstützung von Mixed-Criticality-Systemen. Zudem steht bereits

heute die grundlegende Technologie zur Einführung von Software-Apps in Automobilen bereit.

#### 4.2.1.4 Sensorik und Aktorik

Im Bereich der Sensorik sind insbesondere Trends in Bezug auf ihre Verdichtungsrate und die Flexibilität ihres Einsatzes zu beobachten, die Auswirkungen auf den Automobilbereich haben.

**Dichte** Die Anzahl der Sensoren im Auto und außerhalb davon wird dramatisch zunehmen. Entsprechend einer Studie des „Wireless World Research Forum“ (WWRF)<sup>68</sup> kommen im Jahr 2017 auf jeden Erdbewohner 1000 Sensoren (insgesamt sieben Billionen Sensoren bei sieben Milliarden Menschen).

**Flexibilität** Die Sensorik wird zunehmend intelligenter; eine Vorverarbeitung der Rohdaten kann deshalb bereits innerhalb der Sensoren stattfinden. Beispiele hierfür sind Kameras mit integrierten FPGAs.

Besonders viele Sensorik-Innovationen verzeichnen die Anwendungsbereiche Infotainment und Spiele. Dadurch sind zum Beispiel die Preise für Beschleunigungssensoren und Kamerasysteme in jüngerer Vergangenheit stark zurückgegangen.

Was fahrzeugrelevante Sensorik betrifft, finden die meisten Innovationen in der Erfassung des Fahrzeugumfelds statt, zum Beispiel in der Form von Abstandssensoren. Bei diesen Neuerungen handelt es sich allerdings nur in Ausnahmefällen um grundlegende Innovationen; meist werden Technologien aus anderen Bereichen portiert und an den Automobilbereich angepasst, oder Sensoren, die vorher isoliert waren, werden kombiniert und kommunizieren miteinander.

### Auswirkungen auf die IKT-Architektur

Lokale Intelligenz bewirkt, dass Sensoren Rohdaten eigenständig verarbeiten können – wodurch weniger Bandbreite benötigt wird – oder dass eine grundlegende Regelung bereits lokal umgesetzt werden kann. Dies ist auch notwendig, da die Zahl komplexer Sensoren, zum Beispiel Videokameras, in Kraftfahrzeugen steigt. Ohne Vorverarbeitung würde die Kommunikationslast deutlich steigen. Um diesem Anstieg darüber hinaus zu begegnen, aber auch aus Kostengründen, ist es erforderlich, die Daten dieser Sensoren allen Funktionen zur Verfügung zu stellen, die sie benötigen, anstatt die gleichen Sensoren mehrfach einzubauen. Diese Notwendigkeit beschleunigt eine Ho-

<sup>68</sup> Rabaej/Pederson (2008)

mogenisierung der verwendeten Busprotokolle und die Einführung einer Datenfusionskomponente.

Ein weiteres wichtiges Merkmal intelligenter Sensoren und Aktoren ist ihre Konfigurierbarkeit: Über entsprechende Schnittstellen können sie an ihre jeweiligen Aufgaben optimal angepasst werden.

#### **4.2.1.5 Kommunikationstechnik – drahtgebunden**

Im Bereich drahtgebundener Kommunikationstechnik steigt die Verfügbarkeit kostengünstiger, echtzeitfähiger und breitbandiger Kommunikationsprotokolle. Insbesondere Protokolle auf der Grundlage der weit verbreiteten Ethernet-Technologie, zum Beispiel AVB für die Audio- und Video-Übertragung, werden zunehmend verwendet und kommen als Ersatz für herkömmliche Busprotokolle infrage. Ein befragter Entscheider aus der Branche: „Wir überlegen, MOST durch AVB zu ersetzen.“ Alle zu diesem Thema befragten Fachleute gehen davon aus, dass Ethernet sich für eine breitbandige Kommunikation innerhalb eingebetteter Systeme durchsetzen wird, auch im Bereich Automotive. Ethernet-Standards mit einer Übertragungsrate von zehn Gigabit pro Sekunde existieren bereits; noch höhere Bandbreiten sind zu erwarten. Die Nachteile von Ethernet, etwa ein erhöhter Verkabelungsaufwand und höheres Gewicht der Verkabelung, könnten durch neue physikalische Medien wie Lichtwellen-Leiter aus Kunststoff („Plastic Optical Fibre“, POF), behoben werden. Aus diesen Gründen haben führende Automobilhersteller und Zulieferer in Deutschland das Projekt SEIS („Sicherheit in eingebetteten IP-basierten Systemen“)<sup>69</sup> ins Leben gerufen, das sich mit den Möglichkeiten zur Verwendung von Ethernet befasst.

#### **Auswirkungen auf die IKT-Architektur**

Diese Beobachtungen machen es sehr wahrscheinlich, dass Ethernet als Kommunikations-Backbone im Auto der Zukunft verwendet werden wird, und zwar breitbandig, echtzeitfähig und redundant, um Hochverfügbarkeit zu gewährleisten. Ein solches Kommunikationssystem würde die Homogenisierung der IKT-Architektur und die Einführung von X-by-Wire im Automobil wesentlich beschleunigen.

#### **4.2.1.6 Kommunikationstechnik – funkbasiert**

Getrieben durch den boomenden Smartphone-Markt, ist ein Trend zu Funknetzen mit größerer Bandbreite,

besserer Abdeckung und höherer Übertragungssicherheit festzustellen. In naher Zukunft könnten die Standards „Long Term Evolution, 4. Generation“ (LTE 4G), als eigentlicher Nachfolger von UMTS, und „WiMAX“, ein breitbandiges Funkübertragungssystem auf der Basis des Standards IEEE 802.16, um diese Aufgabe konkurrieren. Ein Problem ist weiterhin die mangelnde Flächenabdeckung und damit eine nicht akzeptable Verfügbarkeit dieser Technologien. Vor allem in Flächenstaaten wie den USA ist vorerst nicht mit einer deutlichen Besserung zu rechnen.

Im Nahbereich dominiert der WLAN-Standard, der jedoch keine ausreichende Bandbreite zuverlässig bereitstellen kann.

Ansätze im Bereich Software Defined Radio, also Funkprotokolle die statt in Hardware in Software umgesetzt werden und dadurch wesentlich flexibler sind, könnten in beiden Bereichen in Zukunft eine Grundlage für eine zuverlässige, durchgehende, echtzeitfähige Funkkommunikation etablieren.

#### **Auswirkungen auf die IKT-Architektur**

Die Bandbreite der funkbasierten Kommunikationsprotokolle nimmt stetig zu. Dieser technische Trend unterstützt den gesellschaftlichen Trend der Einbindung von Autos in die Datennetze der Zukunft. Wesentliche Teile der Funktionalität von typischerweise nicht sicherheitskritischen Anwendungen können darum künftig außerhalb von Fahrzeugen umgesetzt werden, die so zu mobilen Bestandteilen des Internets der Dinge werden. Ob und unter welchen Voraussetzungen auch kritische Funktionen, zum Beispiel Car-to-Car-Kommunikation zur Vermeidung von Unfällen, über Fahrzeuggrenzen hinweg implementiert werden können, ist noch nicht absehbar. Voraussetzung dafür wäre, dass ein Funkprotokoll mit gesicherten Bandbreiten im Jahr 2030 verfügbar ist. Man kann jedoch davon ausgehen, dass Car-to-Car-Kommunikation zumindest unterstützende Funktionalität ermöglichen wird.

#### **4.2.1.7 Software-Entwicklungsprozesse**

Im Bereich der Software-Entwicklungsprozesse geht der Trend in Richtung einheitlicher Vorgehensmodelle, die den Entwicklungsprozess ganzheitlich berücksichtigen. Diese werden unterstützt von modellbasierten und an die Domäne Fahrzeug angepassten Entwicklungs-, Konfigurations- und Testwerkzeugen<sup>70</sup>, die im Wesentlichen zur Konfiguration der verwendeten Middleware verwendet werden: „Die Qualität ei-

69) <http://www.pt-it.pt-dlr.de/de/2094.php>

70) Software Productivity Research & Capers Jones, 2002



ner AUTOSAR-Implementierung hängt in erster Linie von den zur Verfügung stehenden Werkzeugen ab“, so die Erfahrung eines für diesen Bericht befragten Technologie-Insiders. Entwicklungsbedarf besteht bei den Werkzeugen noch in Bezug auf die Berücksichtigung von nicht funktionalen Eigenschaften und von unterschiedlichen Domänen. Beispiele hierfür sind die gleichzeitige Entwicklung von Hardware und Software (Stichwort: Hardware-Software-Co-Design) oder die Kombination kontinuierlicher und diskreter Fragestellungen (Stichwort: hybride Systeme), wie sie beispielsweise in der Umsetzung von regelungstechnischen Funktionen durch ein Computersystem auftreten.

### Auswirkungen auf die IKT-Architektur

Werkzeuge für durchgehend modellbasierte Entwicklung, von der Anforderungserhebung über Design und Entwicklung bis hin zum Testen und zur Wartung, führen zu einer Abkehr vom traditionellen, von unten nach oben gesteuerten („Bottom-up“), Entwicklungsprozess; der Prozess verläuft stattdessen „Top-down“. Dieser Trend wird auch durch eine entsprechende Forderung in Zertifizierungsstandards verstärkt.

#### 4.2.1.8 Zertifizierungsstandards

Weil eine zunehmende Zahl sicherheitskritischer Systeme im Wesentlichen in Form von Software realisiert wird und weil hierfür Zertifizierungsstandards wie ISO 26262<sup>71</sup> eingeführt werden, wird es immer wichtiger, die Funktionen dieser Systeme abzusichern. Wesentliche Elemente von Zertifizierungsstandards sind

Forderungen nach einem Top-down-Entwicklungsprozess und dass die Korrektheit der Funktionen ausreichend abgesichert wird, vorzugsweise durch formale Methoden. Technologien zu diesem Zweck, etwa die statische Analyse, haben sich deutlich fortentwickelt; eine weitere Verbesserung ist zu erwarten. Dennoch stoßen einschlägige Werkzeuge immer wieder an Komplexitätsgrenzen. Beim Model Checking werden beispielsweise alle möglichen Zustände eines Systems in Bezug auf die zu prüfende Eigenschaft untersucht. In einem komplexen System kann die Anzahl dieser Zustände sehr groß werden („Zustandsexplosion“). Dieses Problem kann verringert werden, wenn die Art der Ausführung und die zugrundeliegende Software- und Hardwareplattform die Anzahl der verschiedenen Ausführungsmöglichkeiten reduzieren. Das kann zum Beispiel durch deterministische Kommunikationsprotokolle geschehen.

### Auswirkungen auf die IKT-Architektur

Sicherheitskritische und unkritische Funktionen zu separieren ist aufgrund der Vernetzung unterschiedlicher Subsysteme immer schwieriger. Darum ist es unerlässlich, dass die im Automobil verwendete Prozessor- und Kommunikationstechnik eine Separierung der Anwendungen unterstützt und für eine bessere Analysierbarkeit ihres Verhaltens sorgt. Ein Beispiel hierfür ist die Verwendung eines zeit- statt ereignisgesteuerten Paradigmas bei der Bereitstellung von Prozessor-Rechenzeit an sicherheitskritische Softwareprozesse („Scheduling“) und bei der Zuweisung von Kommunikationsbandbreite.

## 4.2.2 Bewertung fehlender Technologien

Vor dem Hintergrund der Trends, die in den vorangegangenen Kapiteln diskutiert wurden, identifiziert der folgende Abschnitt Technologien, die gegenwärtig zu einer Realisierbarkeit dieser Trends fehlen. Anschließend wird evaluiert, ob und in welchem Ausmaß eine Weiterentwicklung der vorhandenen Technologien zu erwarten ist oder ob fehlende Technologien Entwicklungen verhindern könnten.

### 4.2.2.1 Kommunikationstechnik – zuverlässige Funkkommunikation

Besonders für die Nahfeldkommunikation zwischen mehreren Autos (Car-to-Car) sowie Autos und ihrer Umgebung (Car-to-Infrastructure) fehlen gegenwärtig

deterministische Kommunikationsprotokolle, die bestimmte Bandbreiten und Latenzzeiten gewährleisten können. Ein Standard für solche Protokolle wird auch in anderen Bereichen wie Robotik oder Automatisierungstechnik benötigt. Das Problem ließe sich lösen, wenn Technologien aus anderen Bereichen übernommen und an die Autokommunikation angepasst würden, zum Beispiel der Standard für die digitale Drahtlostelefonie: „Der DECT-Standard („Digital Enhanced Cordless Telecommunications“, Anmerkung der Redaktion) könnte für die Entwicklung einer deterministischen Nahfeldkommunikation eine geeignete Basis sein“, urteilt ein Kenner der Technologie. Denkbar ist auch, dass Software-Defined-Radio-Tech-

71) ISO, International Organization for Standardization, Draft International Standard ISO/DIS 26262



nologien die Lücke schließen. Das Fehlen geeigneter Standards erschwert eine Vorhersage, ob im Jahr 2030 eine über das Fahrzeug hinausgehende Regelung sicherheitskritischer Funktionen, zum Beispiel eine koordinierte Unfallvermeidung durch Kommunikation zwischen Fahrzeugen, umgesetzt werden kann. Aufgrund des Bedarfs in anderen Industrien ist jedoch eine Entwicklung in diese Richtung wahrscheinlich. Zumindest kann jedoch von einer unterstützenden Funktion durch Nahfeldkommunikation ausgegangen werden.

#### 4.2.2.2 Modellbasierte Entwicklungswerkzeuge

Modellbasierte Entwicklungswerkzeuge sind gegenwärtig überwiegend nicht in der Lage, nicht funktionale Eigenschaften der zu entwickelnden Systeme zu berücksichtigen. Das ist jedoch erforderlich: Um zum Beispiel Sicherheitsaspekte zu bedenken – sowohl Da-

ten- als auch funktionale Sicherheit –, müssen bei der Softwareentwicklung Modellierungsverfahren angewendet werden, die einschlägige Zertifizierungsnormen erfüllen; ferner werden Mechanismen benötigt, die zum Beispiel für Fehlertoleranz sorgen. Zudem müssen zukünftige Werkzeuge unterschiedliche Domänen der Automobilentwicklung berücksichtigen, zum Beispiel die Co-Simulation von kontinuierlichen und diskreten Systemen (hybride Systeme). Ihre Bedeutung nimmt in dem Ausmaß zu, wie Autokomponenten untereinander und das Auto in die Umgebung integriert werden.

Die vorhandenen Defizite sind offenbar als solche erkannt worden. Sie werden zum Beispiel in der Forschungsagenda der „Nationalen Roadmap Embedded Systems“<sup>72</sup> adressiert, sodass die benötigten Werkzeuge entwickelt werden sollten.

## 4.3 | Benchmark: Vergleich mit anderen Bereichen

Auch in anderen Technologieregionen, zum Beispiel Robotik und Avionik, haben sich die Architekturen grundlegend verändert. Dieser Abschnitt geht der Frage nach, welche Erkenntnisse für den Automobilbereich sich daraus ableiten lassen.

Humanoiden Robotern, Flugzeugen und Automobilen ist es gemein, dass sie sich in einer nicht vollständig kontrollierten Umgebung bewegen. Weitere Gemeinsamkeiten sind planende Aufgaben, zum Beispiel Navigation, und der koordinierte Einsatz von Akteuren, im Automobil etwa für Eingriffsstrategien Elektronischer Stabilitätsprogramme (ESP).

Ende der 1970er-Jahre haben Lösungen für Systeme in kontrollierten Umgebungen, zum Beispiel 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 Endkunden. Ein ähnlicher Trend zur Kostensenkung durch Modularisierung ist nun auch in den Bereichen Avionik, Robotik und Automotive zu beobachten.

### 4.3.1 Avionik

In der Flugzeugindustrie hat sich in den letzten zehn Jahren ein weitreichender Wandel vollzogen. Dominante Architektur in diesem Bereich ist „Integrated Modular Avionics“ (IMA), die hier genauer betrachtet wird.

Die Einführung von IMA wurde getrieben durch die wachsende Anzahl an Funktionen im Flugzeug. Sie dienen zum einen einer Steigerung der Performance (System for Flight Management, dazu Fuel-Management-Systeme). Zum anderen hat, aufgrund

72) ZVEI (2009)

von Flugunfällen, die Zahl an Sicherheitssystemen an Bord zugenommen. Ein Beispiel ist „Flight Envelope Protection“, ein System, das Flugmanöver vermeidet, die die bauliche Struktur von Flugzeugen über Gebühr beanspruchen und dadurch beschädigen können.

Mit der IKT-Architektur, die vor der Einführung von IMA vorherrschte, ist die Flugzeugindustrie in die Komplexitätsfalle gelaufen: Jedes neue System erforderte mindestens einen neuen Steuerungsrechner, manchmal sogar mehrere; Kosten, Gewicht und Integrationsaufwand stiegen dadurch immer weiter. Neue Flugzeugtypen erforderten neue Varianten von Steuerungsrechnern, die sowohl das Flugzeug selbst – durch zusätzliche Verkabelung und zunehmende Abwärme – komplexer machten als auch die Unternehmensprozesse der Hersteller, etwa durch mehr Sachnummern und umfangreichere Dokumentationen.<sup>73</sup> Bei den Kunden, den Fluggesellschaften, stiegen für jede funktionale Aktualisierung die Ersatzteil-Lagerbestände, neue Wartungsausrüstung wurde benötigt, und der Wartungsaufwand nahm zu, genauso wie die Kosten.

IMA setzt an bei der Steuerungshardware – Rechner inklusive Netzwerkkomponenten –, der Software-Infrastruktur, also dem Betriebssystem, und den diversen Schichten der Anwendungssoftware. Die Steuerungsrechner sind modular aufgebaut. Was sie kennzeichnet, ist eine standardisierte Einschubtechnik mit Regal (Rack) und einem Hardware-Bussystem in der Rückwand (Backplane) sowie die Möglichkeit, die Hardware zu skalieren, weil Standardkomponenten wie Stromversorgung, Prozessorplatinen sowie Netzwerk- und I/O-Karten (Input/Output) frei konfigurierbar sind.

Bei der Nachrichtenverteilung zwischen den Netzwerkknoten im Flugzeug wird eine AFDX („Avionics Full-Duplex Switched Ethernet“) genannte Technik verwendet. Sie arbeitet nach dem Multicast-Verfahren, kann also Nachrichten an mehrere Teilnehmer gleichzeitig übertragen, ohne dass beim Sender der Bedarf an Bandbreite steigt. 200 Megabit pro Sekunde stehen an Bandbreite zur Verfügung. Als Full-Duplex-Ethernet sind die Multicast-Netze redundant; sie weisen eine Sterntopologie auf, und es werden Switches mit integrierter Funktionalität für die Netzwerküberwachung verwendet; zusammengenommen sorgen diese Eigenschaften für Ausfallsicherheit. Die verwendeten Kabel und Steckverbindungen entsprechen erprobten Standards.

Mit „ARINC 653“ steht in der Flugzeugindustrie ein Betriebssystem-Standard zur Verfügung, der es ermöglicht, Applikationen sowohl untereinander als auch von der Hardware zu entkoppeln. ARINC 653 stellt dadurch sicher, dass keine Anwendung auf denselben Arbeitsspeicher-Adressraum wie eine andere Applikation zugreifen kann. Fixes Scheduling, also systeminterne Zeitpläne, nach denen Prozessoren zur Verfügung gestellt werden, stellt sicher, dass sich einzelne Anwendungen nicht gegenseitig zeitlich beeinflussen können. Auf diese Weise ermöglicht ARINC 653 die räumliche und zeitliche Partitionierung der Hardware, stellt also für jede Applikation ein virtuelles Einzelsystem bereit. Software-Applikationen für die unterschiedlichsten Hardwaresysteme lassen sich damit auf wenigen Steuerungsrechnern konzentrieren. Den Zugriff auf Ein- und Ausgabe-Schnittstellen (I/O-Ports) regelt ausschließlich das Betriebssystem. Ein eingebautes „Health Monitoring“ überwacht zudem den Zustand von Systemressourcen und Applikationen.

Die Konfiguration der IKT-Systeme im Flugzeug, wie sie zum Zeitpunkt der Auslieferung besteht, ist in Form von Konfigurationstabellen in den Systemen hinterlegt. Geht es um Systeme mit Einfluss auf das Gesamtsystem, verwaltet der jeweilige Flugzeughersteller die dazugehörigen Konfigurationstabellen. Tabellen für zugelieferte Applikationen kommen von deren Lieferanten.

IMA wird sich weiterentwickeln. Das gilt etwa für die Möglichkeit, Systemressourcen nach der Auslieferung neu zu konfigurieren, die Vergrößerung der Netzwerkbandbreite und die Verlagerung von Sicherheitsfunktionen von Applikationen zum Betriebssystem.

### Auswirkungen auf die IKT-Architektur

Die Automobilindustrie steht heute vor einem ähnlichen Wandel wie die Flugzeugindustrie in den 1990er-Jahren. IMA hat gezeigt, dass eine neue Architektur zur Komplexitätssenkung beitragen und eine tragfähige Basis für die Zukunft schaffen kann. Wesentliche Konzepte wie die Zentralisierung der Rechnerarchitektur, lokale Datenkonzentratoren und X-by-Wire können übernommen und an den Bedarf in den einzelnen Domänen des Automobilbaus angepasst werden. Auch in der Avionik ist das Interesse an Synergieeffekten groß, wie ein Branchen-Insider aus der Avionik feststellt: „Wir liefern die passenden Konzepte, durch die Skaleneffekte der Automobilindustrie wird es für beide Domänen (Automotive und Avionik, Anmerkung der Redaktion) günstiger.“

<sup>73</sup>) Butz (2010)

## 4.3.2 Mobile Roboter

Humanoide Robotersteuerungen basieren auf einer Mischung aus der „Deliberativen Architektur“, die 1972 an der Universität Stanford entwickelt wurde, und der „Reaktiven Architektur“, 1986 entwickelt von Rodney Brooks am Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Die Deliberative Architektur umfasst drei große Funktionsblöcke: Wahrnehmung der Umwelt, Planung der Roboter-Aktionen und -Handlung (Koordination der Aktorik, also der Art und Weise, wie Roboterbewegungen erzeugt werden). Basis der Architektur ist ein Modell der Umwelt, das in einem ersten Schritt mit hohem Aufwand erstellt wird. In einem zweiten Schritt wird dann auf Basis dieses Modells die Handlung geplant und schließlich umgesetzt. Die Wahrnehmung der Umwelt und die geplante Aufgabe beeinflussen das Verhalten des Roboters. Diese Architektur erfordert viel Rechenleistung für das Erfassen der Umwelt, das Aktualisieren des internen Modells und für Algorithmen zum Vermeiden von Kollisionen.

Im Unterschied zur Deliberativen koppelt die Reaktive Architektur die Wahrnehmung der Umwelt direkt mit dem Ansteuern der Aktorik. Der dritte, der planende Funktionsblock mit dem Umweltmodell existiert hier nicht. Um zu vermeiden, dass reaktiv gesteuerte Roboter in identischen Situationen unterschiedliche Verhaltensmuster zeigen, wird ihre Zustandshistorie während des Betriebs mitgeschrieben. Das Verhalten der Roboter ist implizit durch die Verknüpfung von Sensoren und Aktoren definiert.

Heutige Ansätze mischen beide Architekturen. Für die optische und akustische Wahrnehmung durch Sensoren und die Aufbereitung der Umwelt existiert ein separater Funktionsblock. Ein Umweltbild entsteht durch die Fusion heterogener Sensordaten; diese Fusion erfordert hohe Rechenleistung und viel Speicherplatz.

Ein zweiter Funktionsblock fasst planende Aufgaben zusammen, die das Verhalten des Roboters auf übergeordneter Ebene definieren. Ferner werden in diesem Block Algorithmen für die Lernfähigkeit bereitgestellt und grobmotorische Bewegungsvorgaben definiert.

Der dritte Funktionsblock ist für die Feinmotorik zuständig; grobmotorische Bewegungsvorgaben werden

in koordinierte feinmotorische Bewegungen umgesetzt. Die einzelnen Aktoren sind in Regelkreise eingebunden, die sehr kurze Rechenzeiten erforderlich machen. Die Anzahl dieser Regelkreise ist hoch, und die Berechnung der einzelnen Gelenkpositionen entsprechend der geplanten Bewegungskurve des Roboters erfordert komplexe Modelle und Regelungsalgorithmen.

Eine standardisierte Hardware-Architektur, wie in IMA für die Flugzeugindustrie vorgegeben, existiert für humanoide Roboter noch nicht. Ein Grund hierfür ist, dass der verfügbare Bauraum im Roboter-Chassis sehr stark von deren Typ und Verwendungszweck abhängt und deshalb sehr unterschiedlich ist.

Im Bereich der Softwaretechnik ist dagegen der Standardisierungsprozess fortgeschritten, und es existieren diverse Middleware-Architekturen, zum Beispiel OROCOS<sup>74</sup> („Open Robot Control Software“) oder Open RTM<sup>75</sup> („Open Source Robotic Technology Middleware“).

### Auswirkungen auf die IKT-Architektur

Besonders die logische Architektur humanoider Robotersteuerung 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 könnten für den Automobilbereich interessant sein.

74) <http://www.orocos.org/>

75) <http://www.is.aist.go.jp/rt/OpenRTM-aist/>

## 4.4 | Evolution der IKT-Architektur

Bei der evolutionären Entwicklung von Fahrzeugarchitekturen ist ein Phänomen zu beobachten, das typisch ist für komplexe Systeme, die über einen langen Zeitraum weiterentwickelt werden. Beschrieben wurde es unter anderen von Fred Brooks<sup>76</sup>: Die tatsächliche Komplexität (accidental complexity) der Architektur übersteigt demnach deutlich die Komplexität (essential complexity), die für den erreichten Zuwachs an Funktionen eigentlich notwendig wäre (siehe *Abbildung 12*).

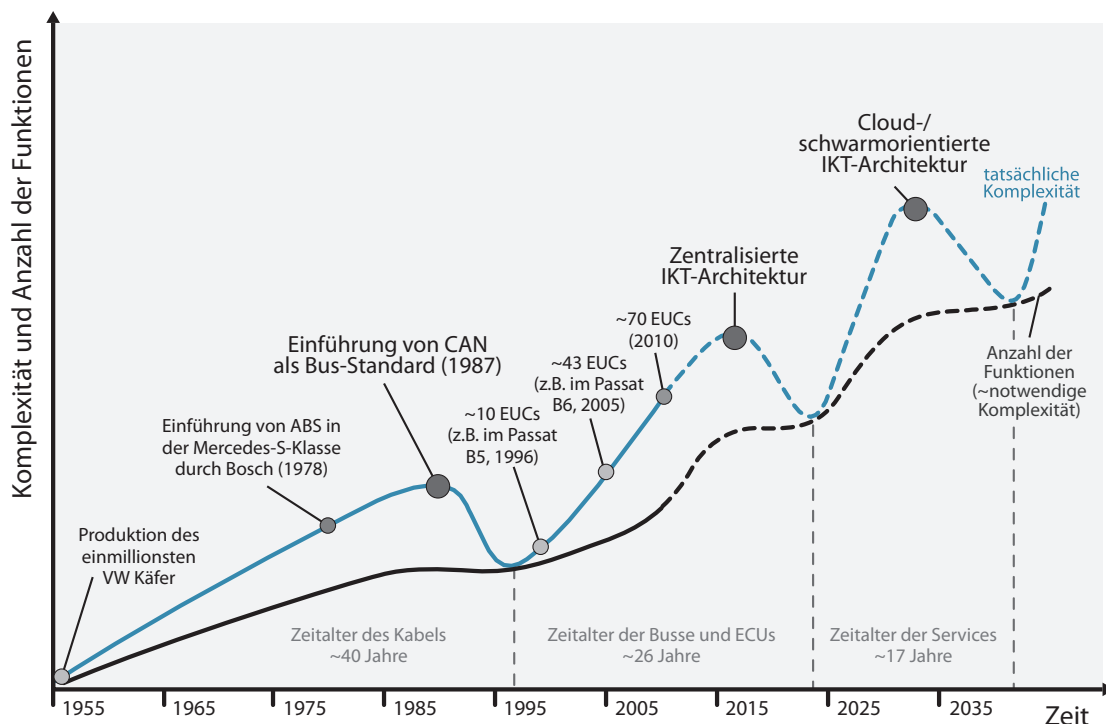
Die stetige Zunahme der tatsächlichen Komplexität macht es immer teurer, neue Funktionen zu integrieren; der Innovationstrend schwächt sich daher ab. Um die tatsächliche wieder an die notwendige Komplexität anzugleichen, bedarf es eines Technologiesprungs, muss die Architektur also grundsätzlich überarbeitet werden. Im Wesentlichen gilt es, einen Teil der Plattform zu virtualisieren (siehe *Abbildung 13*) und auf diese Weise das Abstraktionsniveau, auf dem neue Funktionen integriert werden, anzuheben. Der Effekt: Die virtualisierte Plattform wird zur Standardkompo-

nente (Commodity), und die Komplexität sowie der Preis 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 Kabel-ebene, 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

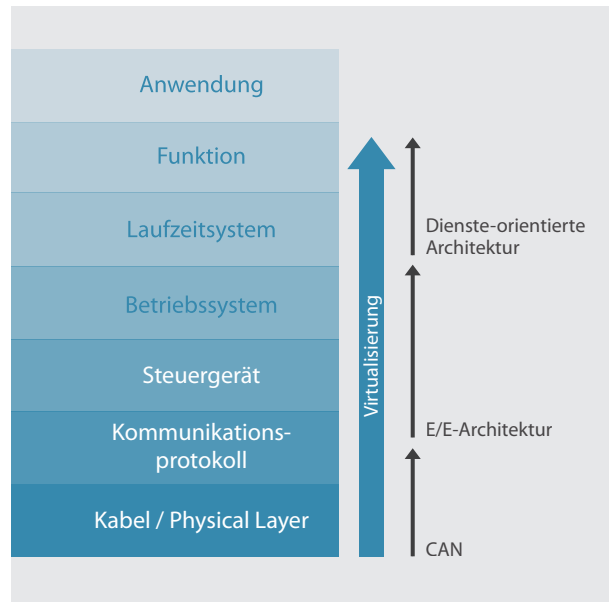
**Abbildung 12: Evolution der Komplexität**



<sup>76</sup> Brooks (1986)

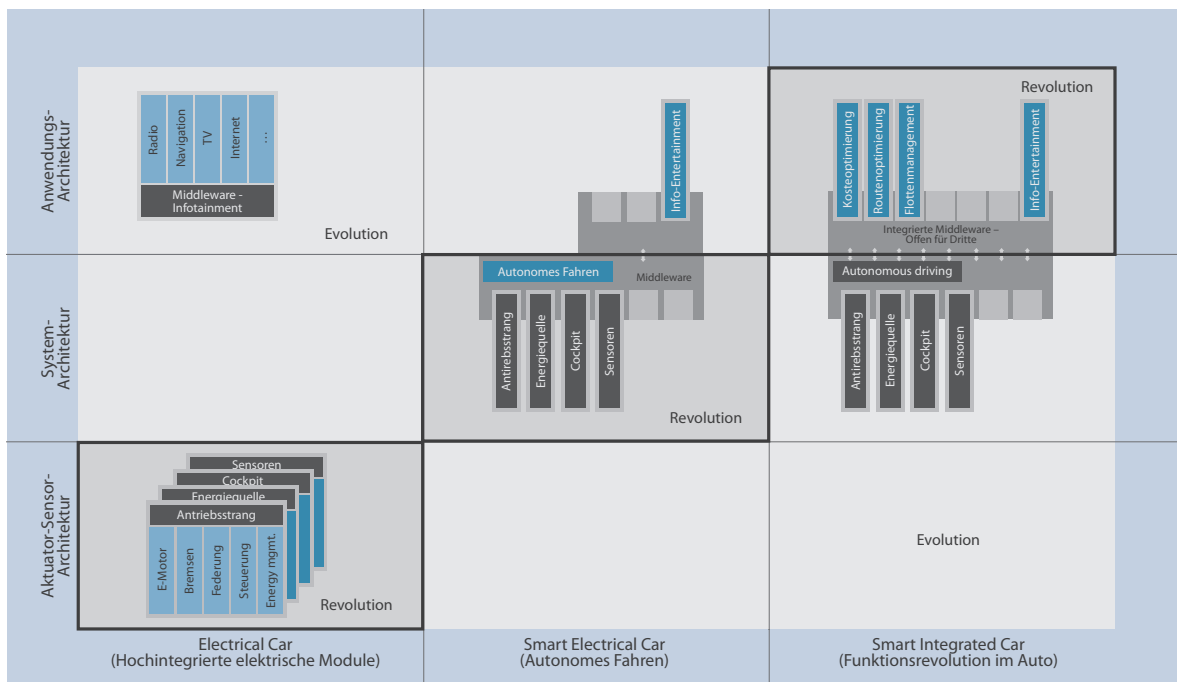
die tatsächliche Komplexität reduzieren. Neue Funktionen würden dann nicht mehr in Form von Steuergeräten, sondern als Software integriert werden. Der dritte Schritt wäre schließlich eine weitergehende Virtualisierung des benötigten Gesamtsystems aus Hardware und Software („Hardware-/Software-Stack“) 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.

Auf dieser neuen Grundlage und vor dem Hintergrund der gesellschaftlichen und technologischen Trends könnte die Evolution der IKT-Architektur in drei Phasen ablaufen, wie in *Abbildung 14* dargestellt. Im folgenden Abschnitt werden die drei Phasen erläutert.



**Abbildung 13: Virtualisierungstrend**

**Abbildung 14: Evolution der IKT-Architektur**





### Electrical Car – hochintegrierte elektrische Module

In einer ersten Phase, die teilweise bereits heute eingesetzt hat, ist eine Revolution auf der Ebene von Aktoren und Sensoren zu erwarten. Sie wird gekennzeichnet sein durch einen hohen Grad an Integration mechatronischer Module. Diese kapseln Sensoren und Aktoren und verfügen im Wesentlichen über zwei Schnittstellen: für die Stromversorgung und für Daten. Gleichzeitig werden sich für die Integration nicht sicherheitskritischer Funktionen Middleware-Architekturen als Infrastruktur durchsetzen. Diese Architekturen ermöglichen es, auch Dienste von Drittanbietern zu integrieren. Eine zunehmende Anzahl neuer Dienste wird gar nicht physikalisch ins Fahrzeug integriert sein, sondern in der umgebenden Infrastruktur auch von Dritten angeboten werden. Darum werden Fahrzeuge künftig direkt mit dem Internet verknüpft sein und von dort insbesondere Infotainment-Dienste beziehen.

### Smart Electrical Car – autonomes Fahren

In einer zweiten Phase werden sich einheitliche Middleware-Architekturen und Abstraktionsschichten auch im Fahrzeugantriebsstrang durchsetzen. Die elektrische Aktorik erlaubt dabei eine wesentlich einfachere und exaktere Regelung als bei Verbrennungsmotoren; das Auto insgesamt wird zu einem Roboter. Ähnlich wie in der Robotik werden mit steigender Abstraktion immer höherwertige Funktionen realisiert, wie in *Abbildung 15* dargestellt. Die Einführung der Abstraktionsschichten vermeidet dabei die Komplexitätsfalle. Spätestens in dieser zweiten Phase verändert sich der Entwicklungsprozess; statt eines komponenten-

tenorientierten (Bottom-up) wird künftig ein funktionsorientierter Entwurf (Top-down) verwendet. Außerdem ergibt sich aus dem Schichtenmodell die Möglichkeit, die Architektur zu skalieren und das Auto einfach um neue Funktionen zu erweitern. Gleichzeitig mit dem Schichtenmodell werden Komponenten zur Fusion und zur Verteilung von Daten eingeführt. Erst auf der Basis einer solchen Architektur, mit Schichtenmodell und Datenzentrierung, lässt sich Autonomie, bis hin zum autonomen Fahren, umsetzen.

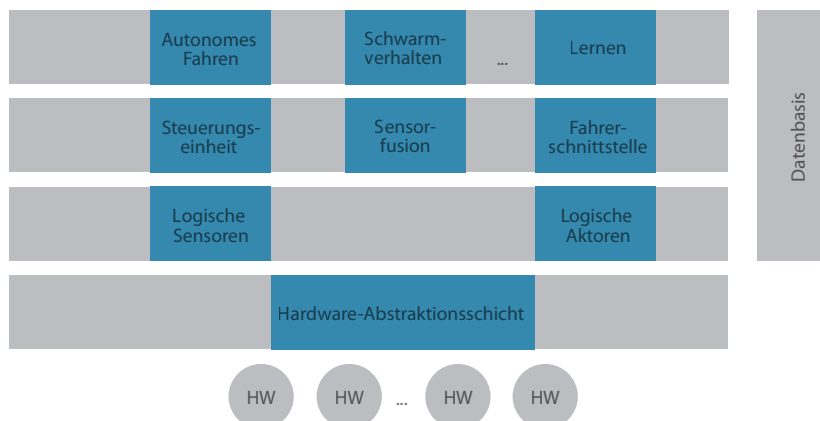
Die Funktionen laufen zunächst getrennt voneinander ab: einerseits die Funktionen des Antriebsstrangs und alle anderen sicherheitskritischen Funktionen, andererseits nicht kritische Funktionen wie Komfort- und Infotainment-Funktionen. Eine Verschmelzung der beiden Middleware-Technologien ist erst in einem dritten Schritt zu erwarten.

### Funktionsrevolution im Auto

Im letzten Schritt sind schließlich eine sehr weitgehende Standardisierung von Fahrzeugplattformen inklusive der notwendigen Software sowie eine Verbindung der sicherheitskritischen mit den unkritischen Funktionen zu erwarten. Die Funktionalität des Fahrzeugs kann nun individuell angepasst werden, indem hochwertige Funktionen nachgeladen und, falls erforderlich, auch neue Hardware, zum Beispiel Sensoren, integriert werden.

Diese können sowohl vom Fahrzeughersteller als auch von Drittanbietern stammen. Vermutlich werden Drittanbieter in Zukunft auch sicherheitskritische Funktionen, zum Beispiel Fahrwerksanpassungen zu einer schonenden Fahrweise für Senioren, liefern können.

**Abbildung 15: Abstraktionsschichten und höherwertige Funktionen**



## 4.5 | Merkmale der IKT-Architektur im Jahr 2030

In diesem Abschnitt werden die wesentlichen Eigenschaften der IKT-Architektur im Jahr 2030 auf der Basis des bis hierhin erarbeiteten Architekturszenarios erörtert.

### Systemstruktur

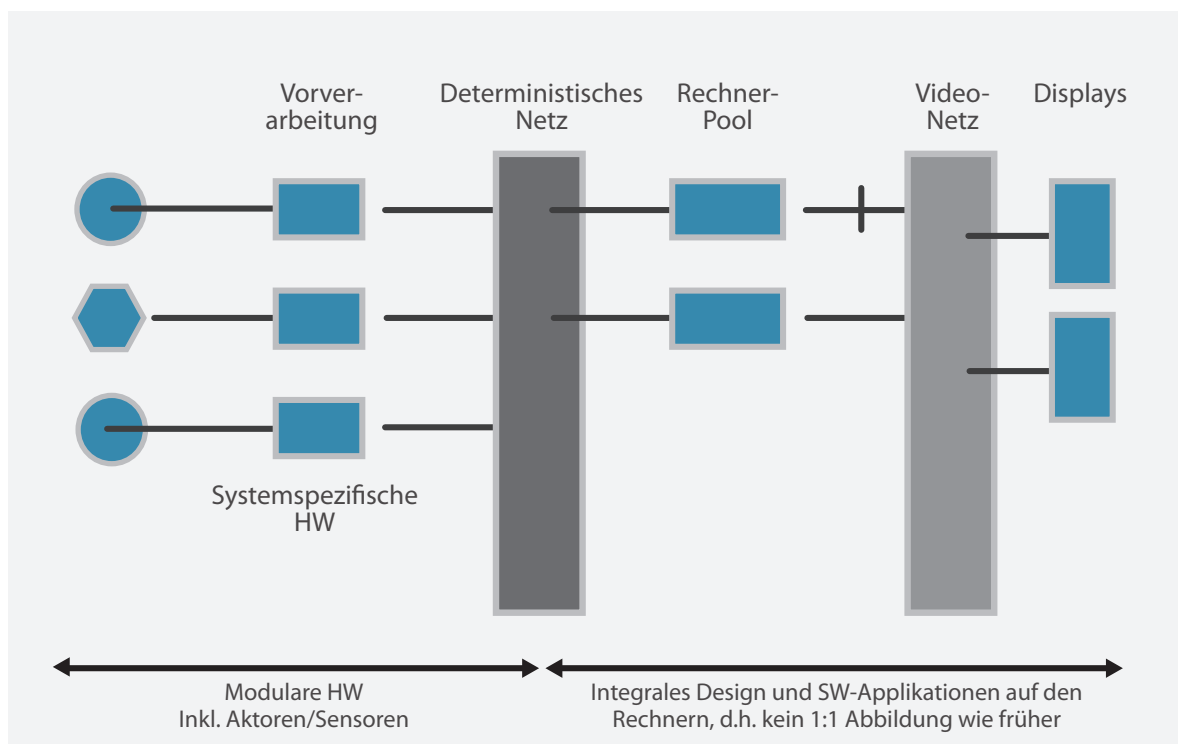
Die mögliche Grundstruktur einer künftigen Architektur zeigt *Abbildung 16*. Wesentliche Merkmale sind eine skalierbare zentrale Recheneinheit („Rechner-Pool“) zur globalen Steuerung und Ausführung von Diensten, intelligente Sensoren und Aktoren sowie Datenkonzentratoren. Datenkonzentratoren haben sich 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 Buslast sinnvoll 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.

### Mechatronische Komponenten, Sensorik und Aktorik

Wesentliches Merkmal der Architektur in Bezug auf die Sensorik und Aktorik ist ein hohes Maß an Integration mechatronischer Komponenten und eine Basisintelligenz dieser Komponenten. Das bedeutet, dass mechanische Module mit passenden Sensoren und Aktoren gekoppelt werden. Die Basisintelligenz dient zur Selbstdiagnose, zur Vorverarbeitung von Daten sowie zur schnellen Regelung. Wenn es um sicherheitskritische

**Abbildung 16: Grobe Systemstruktur**



Anwendungen geht, müssen die verwendeten Komponenten fehlertolerant, also redundant, sein.

### Rechnertechnik

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.

### Standards für die interne Kommunikation

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. Einzelne Experten, die für diese Untersuchung befragt wurden, halten es auch für möglich, dass sich ein Funkprotokoll zur internen Kommunikation durchsetzt; zur Erklärung hieß es: „Es ist einfacher und billiger, das Auto abzuschirmen und ein Funkprotokoll zu verwenden, als Kabel zu verlegen.“ Da jedoch ein standardisierter Kommunikations-Backbone viele der Eigenschaften von Funkverbindungen ebenfalls erfüllt – nämlich Kosten- und Gewichtseinsparung –, ist diese Vision eher unwahrscheinlich.

### Standards für die externe Kommunikation

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.

### Architektur für Software und Middleware

Softwareseitig sorgt künftig eine Middleware-Architektur dafür, dass wesentliche nicht funktionale Leistungen automatisch erbracht werden. Dazu zählen:

- Bereitstellung der Grundlagen funktionaler Sicherheit: Basismechanismen zur Fehlererkennung und Fehlertoleranz, einschließlich Redundanzmanagement (Verwaltung zusätzlicher Ressourcen, die der Fehlertoleranz dienen) und zum Weitermelden von Fehlern innerhalb des Systems. Außerdem müssen Mixed-Criticality-Systeme unterstützt und Prozesse räumlich und zeitlich voneinander separiert werden, wie es beispielsweise der Betriebssystem-Standard ARINC 653 vorgibt.
- Umsetzung von Datensicherheitskonzepten: Basismechanismen zur Autorisierung, zur Authentifizierung, zum Schlüsselaustausch und Rechteverwaltung, damit der Zugriff auf die im Fahrzeug verfügbaren Daten durch die individuellen Dienste kontrolliert werden kann. Hierdurch kann vermieden werden, dass eine Anwendung eines Drittanbieters zum Beispiel durch Zugriff auf GPS-Daten ein Bewegungsprofil des Fahrzeugs erstellt.
- Reaktives Energiemanagement: Überwachen des Energieverbrauchs und der Energieproduktion sowie entsprechendes Konfigurieren der einzelnen Komponenten; Maßnahmen zur Reaktion auf Energiemangel beziehungsweise -überschüsse.
- Fusion von Sensordaten: Ableiten von komplexen Daten, etwa Informationen über den Fahrzeugzustand, aus verschiedenen, eventuell fehlerbehafteten, Sensorsignalen und Verteilen der Daten an relevante Funktionen.
- Abstraktion von Kommunikationsmedien: Zeitgerechte Kommunikation von Daten zwischen den Anwendungskomponenten, unabhängig vom Übertragungsmedium, unter Berücksichtigung der Servicequalität, zum Beispiel Zuverlässigkeit und Sicherheit.
- Ressourcenverwaltung: Bedarfsgerechtes Bereitstellen von Ressourcen (zum Beispiel Rechenzeit, Speicher, Benutzerschnittstellen etc.) inklusive Abschätzen des zusätzlichen Ressourcenbedarfs, wenn neue Funktionen installiert werden.
- Lastoptimierung: Optimieren der Verwendung der Rechenressourcen, zum Beispiel durch dynamisches Anpassen und Verteilen von Anwendungsprozessen.

### Schnittstellen zur Anwendungsebene

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.

### Funktionen auf Anwendungsebene

Für 2030 sind 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“<sup>77</sup>: Darin kann das Fahrzeug einerseits selbst mit der Umgebung kommunizieren, etwa um Unfälle zu vermeiden, andererseits haben die Passagiere Zugriff auf alle verfügbaren Daten.

### Entwicklungsprozess

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.

77) Mitchell/Borrioni-Bird/Burns (2010)

KAPITEL 5

# Fahrzeugszenarien, Wertschöpfungsstrukturen & Geschäftsmodelle

Architekturen sind Treiber für Wertschöpfungsstrukturen und Geschäftsmodelle. Prognose: Neue Teilnehmer im Markt der Elektromobilität etablieren neue IKT-Architekturen und setzen damit einen De-facto-Standard. Zwischen 2020 und 2030 vollzieht sich ein Wandel in den Wertschöpfungsstrukturen und Geschäftsmodellen. Die alte IKT-Architektur kann sich nur noch bis 2020 am Markt halten.

## 5.1 | Fahrzeugszenarien von 2020 bis 2030

Die im Projekt erarbeiteten und in den vorangegangenen Kapiteln erläuterten Anforderungen, Rahmenbedingungen und Trends sind zu Zukunftsszenarien verdichtet worden, die die technischen Eigenschaften künftiger IKT-Systemarchitekturen und Elektroautos beschreiben. Berücksichtigt werden dabei Kundengruppen, integrierte Funktionalitäten und deren technische Realisierung sowie Teile des Wertschöpfungsnetzes.

Aus den bisherigen Betrachtungen ergibt sich ein „Revolutionsszenario“ mit zwei aufeinander aufbauenden Ausprägungen („Low Function/Low Cost“ und „High Function/Low Cost“) für die beiden Zeithorizonte 2020 und 2030. Dieses „Revolutionsszenario“ geht davon aus, dass die zukünftige IKT-Architektur für Elektrofahrzeuge der heutigen Architektur auf disruptive Weise nachfolgt, dass also tief greifende Veränderungen bevorstehen. Dem gegenüber steht ein „Mi-

grationsszenario“, das die Evolution bestehender IKT-Architekturen zu einem „High Function/High Cost“-Szenario im Jahr 2020 beschreibt. Der Zwischenschritt im Jahr 2020 wurde eingefügt, damit die Entwicklungen sich genauer überprüfen lassen. Technologien und Tendenzen, deren Einsatz im Jahr 2020 zu erwarten ist, lassen sich bereits heute erkennen und bewerten. Die weitere Betrachtung für das Jahr 2030 kann dann über diesen Zwischenschritt hinausgehen und ihn plausibel machen.





## 5.1.1 Szenario „Low Function/Low Cost“ im Jahr 2020

Die voraussichtliche Entwicklung des Fahrzeugbedarfs legt die Annahme nahe, dass dieses Szenario im Jahr 2020 wahr wird. Die erforderlichen Technologien zur Integration in entsprechende Fahrzeuge sind heute bereits weitgehend verfügbar.

Zur Zielgruppe solcher Fahrzeuge gehören vor allem Einsteiger in die automobilen Fortbewegung, die sich bisher kein Auto leisten können und stattdessen Fahrrad, Mofa oder Motorrad fahren. Große Teile dieser Zielgruppe leben in sich entwickelnden Volkswirtschaften. Ein eigenes Auto steht für diese Kunden im Vordergrund; das Auto an sich ist ein Statussymbol.

Eine mögliche weitere Zielgruppe sind Personen in Industrieländern, die das Auto nur noch als ein Mittel zum Zweck sehen und sich auf die kostengünstige Fortbewegung konzentrieren.

Vor diesem Hintergrund sind die Ansprüche an das Fahrzeug gering; seine Ausstattung beschränkt sich im Wesentlichen auf die Funktionalität der Fortbewegung. Eine Reichweite von circa 100 Kilometern ohne Zwischenstopp ist für die üblichen Fahrdistanzen in dieser Zielgruppe genug. Im Vordergrund steht ein niedriger Preis.

Die IKT-Architektur für dieses Szenario wird vollständig neu aufgesetzt und orientiert sich nicht an einer Fahrzeugarchitektur, die vom Verbrennungsmotor getrieben wird. Stattdessen werden Elektromotoren an der Radnabe oder direkt an der Gelenkwelle in Betracht

gezogen, woraus sich ganz neue Möglichkeiten für Fahrzeugarchitektur und Design ergeben. Ein Beispiel ist die Studie P.U.M.A. („Personal Urban Mobility & Accessibility“)<sup>78</sup>, die aus einer Kooperation zwischen den US-Unternehmen Segway und General Motors entstanden ist. Motor, Getriebe und Wellen werden in der neuen Architektur nicht benötigt; die Zahl der Teile beziehungsweise Baugruppen, die zum Erzeugen von Vortrieb erforderlich sind, ist deshalb wesentlich geringer als in Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor.

Neu in der IKT-Architektur sind Drive-by-Wire-Ansätze. Sie ermöglichen es, Aktorik-Komponenten direkt an die erforderliche Leistungselektronik (Gleich-, Wechsel- oder Stromrichter sowie Elemente zum An- und Abschalten elektrischer Verbraucher) sowie an informations- und kommunikationstechnische Komponenten anzuschließen. Das hat den Vorteil, dass die Aktoren lokal mit Energie versorgt und über Softwareprotokolle angesteuert werden können, was den Verkabelungsaufwand und die Kosten für die Mechanik reduziert.

Der Bedarf an preisgünstigen Lösungen für Elektromobilität fördert die Gründung von Unternehmen, die neu in den Automobilmarkt einsteigen und ihre Erfahrung aus anderen Branchen, zum Beispiel der IKT- und der Elektronik-Industrie, einbringen, um das Drive-by-Wire-Konzept voranzutreiben.

Diese Unternehmen nutzen den Trend zur Modularisierung von Fahrzeugkomponenten, der in den 1990er-

<sup>78</sup>) <http://www.segway.com/puma/>

Jahren bei den europäischen OEMs begonnen hatte. Für den Entwurf robuster Fahrwerke mit geringerer Komplexität beziehen sie einfache mechanische Komponenten aus den Portfolios der Zulieferer. Antriebskomponenten, darunter Elektromotoren und Umrichter, werden ebenfalls zugekauft, zum Beispiel am asiatischen Markt, und in die Fahrzeugarchitektur integriert.

Diese Bedingungen können die Komplexität und damit die Anlaufphase in der Produktion verkürzen. Auch die Kosten sinken rasch, denn die geringere Wertschöpfungstiefe erlaubt einen schnellen Zuwachs an Stückzahlen samt damit verbundener Skaleneffekte.

### 5.1.2 Szenario „High Function/Low Cost“ im 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. Auch Kunden mit hohen Ansprüchen kaufen im Jahr 2030 darauf basierende Fahrzeuge, da diese nun zu günstigeren Kosten als herkömmliche Fahrzeuge angeboten werden können. Dieser Trend wird verstärkt durch die Möglichkeit, neue Funktionen auf einfache Weise in die Fahrzeuge zu integrieren und diese zu individualisieren.

Über die Jahre haben die Anbieter die neuen Architekturansätze genutzt, um alle Fahrzeugkomponenten über X-by-Wire anzusteuern. Höherwertige Funktionalität, etwa Sensorik für autonomes Fahren, kann darum rasch integriert werden. Damit können auch ältere Menschen, deren Anteil an der Bevölkerung bis 2030 weltweit deutlich zugenommen hat, am Individualverkehr teilnehmen.

Die Anforderungen an die passive Sicherheit – das Verringern von Unfallfolgen – sinken, weil mehr aktive Sicherheitskomponenten zum Vermeiden von Unfällen verwendet werden. Das ermöglicht zudem leichtere Chassis-Strukturen. Um Unfälle zu vermeiden, erfassen die Fahrzeuge mit ihren Sensoren ständig die Umgebung. Zusätzlich kommunizieren sie untereinander, mit der Infrastruktur sowie mit Ressourcen und Diensten im Internet. Die in Europa wirksame Markteintrittsbarriere in Form hoher Anforderungen an die passive Sicherheit durch Crashtests wird damit obsolet.

Wegen der Leichtbauweise sinkt auch die erforderliche Batteriegröße im Fahrzeug. Das Auto kann so-

wohl im städtischen Verkehrsraum als auch für Fahrten über Land genutzt werden. Dabei kommt ein Modul zur Vergrößerung der Reichweite („Range-Extender“) zum Einsatz. Ein befragter Experte erläutert ein mögliches, wenn auch futuristisch erscheinendes Konzept: „Um längere Strecken zu fahren, könnte man einen Anhänger mit Range-Extender verwenden, der gleichzeitig zur Unterbringung von Gepäck verwendet werden kann.“ Mittels Software können die Range-Extender an viele länderspezifische Verwendungsumfelder angepasst werden, etwa an lokal bevorzugte Treibstoffsorten, von Benzin über Ethanol bis hin zu Wasserstoff.

Vollständig oder teilweise autonomes Fahren ermöglicht es Fahrern, während der Reise andere Dinge zu erledigen. Dadurch und mithilfe ständiger Datenverbindungen mit der Umwelt werden Fahrzeuge sich zunehmend zu mobilen Büros mit Infotainment- und Kommunikationsfunktionen entwickeln.

Die Transparenz der IKT-Architektur macht es möglich, Softwarekomponenten, Konfigurationsdaten und Zustandsinformationen von außen in das Fahrzeug einzuspielen beziehungsweise sie zu aktualisieren; das ermöglicht auch kurzfristige Individualisierungen, Carsharing-Modelle können dadurch attraktiver gestaltet, ihre Marktdurchdringung kann gefördert werden.

Die offene IKT-Architektur erweitert außerdem den Kreis möglicher Anbieter von zusätzlichen Fahrzeugfunktionen. Software oder Hardware von Drittanbietern kann direkt bei der Fahrzeugproduktion, aber auch während des Betriebs in die modulare Architektur integriert werden. Nachrüstbare Softwarekomponenten sind heute bereits als „Apps“ für Smartphone-Plattformen bekannt.

## 5.1.3 Szenario „High Function/High Cost“ im Jahr 2020

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, Steuergeräte für Verbrennungsmotor und Getriebe werden durch Steuergeräte für Umrichter und Batterie ersetzt. Die heute etablierten Autohersteller bleiben auch in diesem Szenario die Hauptverantwortlichen für Entwicklung, Integration und Vertrieb der Fahrzeuge.

Die hohen Kosten für Energiespeicher und für die klassische Fahrzeugarchitektur müssen an die Kunden weitergereicht werden. Das bringt das Risiko mit sich, dass sich Elektrofahrzeuge nur im Premiumsegment etablieren können; Skaleneffekte, wie sie im Massenmarkt üblich sind, treten dabei nicht auf. Neben den hohen Kosten erzeugt auch das hohe Gewicht der Batterien Probleme, und zwar beim Chassis. Bestehende Chassis-Konzepte müssen verstärkt neue, teurere Werkstoffe wie Aluminium oder Karbon einsetzen. Die Reichweite wird durch den Einsatz von Range-Extendern gesteigert und an die Erwartungen der Nutzer angepasst.

Für Komponenten zur Umsetzung neuer Funktionen wird Einbauraum frei, weil der bisherige Verbrennungsantrieb entfällt. Der Aufwand für die Integration

der Komponenten beim OEM ist jedoch weiterhin hoch, und das System bleibt weitgehend geschlossen, sodass es sich nach der Auslieferung kaum noch aktualisieren oder gar erweitern lässt. Weil Autos in diesem Szenario circa fünf Jahre lang produziert werden, ist das Infotainment-, Kommunikations- und Navigations-Equipment gegen Ende des Produktzyklus meist veraltet; aktuelle Entwicklungen, zum Beispiel auf dem Gebiet der Fahrerassistenzsysteme, können während des Betriebes nur mit hohem Aufwand integriert werden.

Die Funktionen der Assistenzsysteme stellen den Stand der Technik dar. Unterschiedliche Fahrwerksregelsysteme werden nebeneinander betrieben, ohne Interaktion und teilweise redundant. Möglichkeiten zur Entwicklung einer übergreifenden Fahrwerksregelung („Global Chassis Management“) werden nicht genutzt. Höherwertige Funktionen mit großem Kooperationsbedarf, zum Beispiel Energiemanagement, lassen sich nur mit großem Aufwand realisieren, weil Interaktion und wechselseitige Abstimmung von Fahrzeugkomponenten in der herkömmlichen IKT-Architektur nur in geringem Maß vorgesehen sind. Insbesondere 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.

## 5.1.4 Zusammenfassung

Die folgende Zusammenfassung der einzelnen IKT-Architektur-Szenarien beziehungsweise ihrer Ausprä-

gungen ermöglicht einen besseren Vergleich der wichtigsten Merkmale.

Szenario	Low Function/Low Cost	High Function/Low Cost	High Function/High Cost
Eintrittszeitpunkt	2020	2030	2020
Funktionsvielfalt	gering - mittel	groß	groß
Kosten	gering	gering - mittel	hoch
Erweiterbarkeit	gering - mittel	groß	gering
Integrationsaufwand	gering	gering	groß
Absatzmärkte	Niedrigpreissegment	alle Segmente (wegen Konfigurierbarkeit)	Premiumsegment

## 5.2 | Veränderungstrends in den Wertschöpfungsstrukturen

Im folgenden Abschnitt wird das für 2030 prognostizierte Wertschöpfungsnetzwerk im Szenario „High Function/Low Cost“ dargestellt. Seine Veränderungen werden diskutiert; dabei geht es vor allem um die Auswirkungen auf den IKT-Bereich.

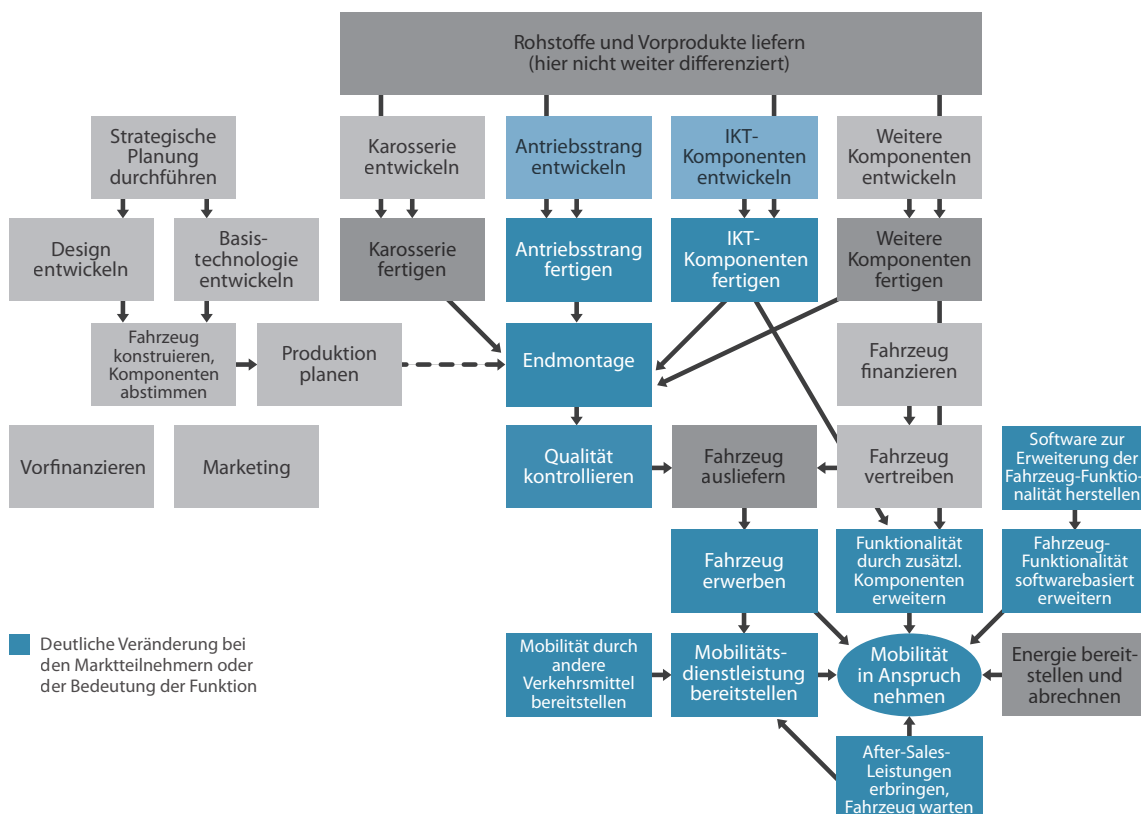
ungen werden diskutiert; dabei geht es vor allem um die Auswirkungen auf den IKT-Bereich.

### 5.2.1 Wertschöpfungssystem der Automobilbranche im Jahr 2030

Die Entwicklung und Produktion von elektrischen Fahrzeugen und die damit potenziell verbundene Neugestaltung der IKT-Architektur führen zu Veränderungen am Weltmarkt. Es ergeben sich Chancen für etablierte Akteure aus der Automobilbranche, aber

auch für neue Marktteilnehmer, zum Teil aus fremden Branchen. Alle Akteure stehen jedoch vor neuen Herausforderungen: Einerseits werden zwar für die Elektrifizierung des Antriebsstrangs bis 2020 weltweit Gewinnpotenziale von fünf bis zehn Milliarden Euro

**Abbildung 17: Darstellung des zukünftigen Wertschöpfungssystems der Automobilbranche in Anlehnung an den Value-Net-Ansatz von Parolini<sup>79</sup>**



<sup>79</sup> Vgl. Parolini (1999), S. 101ff.

vorausgesagt<sup>80</sup>, andererseits besteht aber die Gefahr, dass Umsätze mit konventionellen Technologien in bestehenden Märkten kannibalisiert werden.

Die größten direkten Veränderungen in den Wertschöpfungsstrukturen ergeben sich aus der Einführung einer neuen IKT-Architektur, der Elektrifizierung des Antriebsstrangs und der damit einhergehenden Verwendung neuer Schlüsselkompo-

nenten: zum Beispiel Batterie, Leistungselektronik und Elektromotor. Wichtige indirekte Veränderungen führen zu neuen Wertschöpfungsfunktionen, zum Beispiel dem Angebot von Mobilitätsdienstleistungen oder nachträglich zukaufbaren Erweiterungen für elektrische Fahrzeuge. *Abbildung 17* stellt das für 2030 prognostizierte Wertschöpfungssystem mit den neuen und veränderten Funktionen dar.

## 5.2.2 Veränderungen der Wertschöpfungsfunktionen

In der nachfolgenden Tabelle werden die zu erwartenden Veränderungen der Wertschöpfungsfunktionen beschrieben; der Aufbau gleicht der Darstellung für das Jahr 2010 (siehe Abschnitt 3.4). Veränderungen in Wertschöpfungsfunktionen mit IKT-Bezug werden im

anschließenden Abschnitt erläutert. Diese Trends machen deutlich, dass die IKT eine wesentliche Rolle für die Elektromobilität spielt. Darum befasst sich der folgende Abschnitt eingehender mit Wertschöpfungsprozessen, die einen IKT-Bezug aufweisen.

Funktion	Zu erwartende Veränderungen bis 2030
<b>Strategische Planung durchführen</b>	Markteintritte von neuen Teilnehmern aus IKT-nahen Branchen sind zu erwarten, allerdings ist die Kompetenz der OEMs in diesem Bereich sehr hoch.
<b>Design entwickeln</b>	Neue branchenfremde, insbesondere IKT-nahe Marktteilnehmer, deren Marke bereits mit einem starken Design assoziiert wird, können in den Markt drängen. Markteintritt geschieht über kleine Serien, die gegebenenfalls ausgeweitet werden können.
<b>Basistechnologie entwickeln</b>	Viele traditionelle Entwicklungskompetenzen werden wertlos. Für Technologien, die im Jahr 2030 erforderlich sind, müssen OEMs neues Wissen aufbauen; in Bezug auf Schlüsseltechnologien geschieht das im Unternehmen selbst, um neues Differenzierungspotenzial aufzubauen und verloren gegangene Wertschöpfungsanteile zurückzugewinnen.  Die Bedeutung der OEMs auf diesem Feld wird damit steigen. Alternativen hierzu sind Kooperationen oder Übernahmen. Klassische Zulieferer (besonders direkte, also Tier 1) verlieren an Bedeutung; sie werden durch neue Zulieferer ersetzt, möglicherweise aus dem Ausland.
<b>Fahrzeug konstruieren, Komponenten abstimmen</b>	Neue Marktteilnehmer in Form von Konsortien könnten versuchen, in den Markt einzudringen. Die Kompetenz bei der Systemintegration, also der optimalen Zusammenstellung von Einzelteilen zu einem abgestimmten Gesamtsystem samt Feinkalibrierung, wird bei den OEMs erhalten bleiben. Möglicherweise schottet das den Markt gegen neue Teilnehmer ab.
<b>Produktion planen</b>	Auch diese Kompetenz wird in Zukunft hauptsächlich bei den OEMs liegen und eine Markteintrittsbarriere für neue Marktteilnehmer bleiben, vor allem im Bereich der Massenproduktion.
<b>Vorfinanzieren</b>	Diese Funktion kann innerhalb von Konsortien durch andere finanzstarke Unternehmen übernommen werden.
<b>Marketing</b>	Diese Kompetenz wird ebenfalls in Zukunft primär bei den OEMs bleiben. Marketing und Markenaufbau werden an Wichtigkeit zunehmen. Möglicherweise gelingt es neuen Marktteilnehmern, ihre starken Marken aus anderen Branchen in den Automobilmarkt zu übertragen.
<b>Karosserie entwickeln</b>	Leichtbau ist eine Kernkompetenz deutscher Hersteller (zum Beispiel setzt BMW auf Carbon, Audi auf Aluminium); Markteintritte aus dem Bereich der Luftfahrttechnik sind möglich.
<b>Karosserie fertigen</b>	Diese Wertschöpfungsfunktion wird für OEMs sehr wichtig bleiben; in einigen Fällen wird im Auftrag extern gefertigt.

80) Vgl. Malorny et al. (2009), S. 21



Funktion	Zu erwartende Veränderungen bis 2030
Antriebsstrang entwickeln	Beim Entwickeln des elektrifizierten Antriebsstrangs verlieren herkömmliche Kernkompetenzen wie die Herstellung von Verbrennungsmotoren stark an Wert. Für den elektrischen Antriebsstrang sind zusätzliche Kompetenzen erforderlich; OEMs sind darum auf (neue) Zulieferer angewiesen.
Antriebsstrang fertigen	<p><b>Batterie:</b> Der Zugang zu leistungsfähigen Batterien ist erfolgskritisch. Die Forschungsaufwände sind sehr hoch, während der Wertschöpfungsanteil, bedingt durch starke Kostendegression, schnell zurückgeht. OEMs werden die Batterieherstellung deshalb nicht integrieren, sondern sich den Zugang zur benötigten Technologie durch Kooperationen, Beteiligungen oder Verträge sichern.</p> <p><b>Elektromotoren und Antriebskomponenten:</b> Im Massenmarkt können OEMs versuchen, die Einbußen bei der Herstellung von Verbrennungsmotoren dadurch zu kompensieren, dass sie Elektromotoren und Leistungselektronik selbst fertigen.</p> <p>Die Zulieferindustrie, darunter neue Zulieferer aus der Elektrotechnik, hat großes Interesse, in Zukunft Module des Antriebsstrangs zu liefern. Der Bereich birgt viel Potenzial für weiterentwickelte, hoch integrierte Konzepte, die zum Beispiel Antrieb, Lenkung, Dämpfung und Bremse in die Fahrzeu- grader integrieren. Andere hochwertige Funktionen wie ESP können rein auf Softwarebasis umgesetzt werden, was die Erlöse der Zulieferer drücken wird.</p>
IKT-Komponenten entwickeln	Die Konzeption der IKT-Architektur, das Festlegen von Standards sowie Entwicklung und Fertigung von IKT-Komponenten und -Werkzeugen stellen neue Wertschöpfungsaktivitäten dar, die im Abschnitt 5.2.3 erläutert werden.
IKT-Komponenten fertigen	Siehe oben.
Weitere Komponenten entwickeln	Bei dieser Funktion sind keine großen Verschiebungen zu erwarten. Sollte eine bestimmte Komponente einen Wettbewerbsvorteil schaffen, können OEMs versuchen, Teile der Wertschöpfung zurückzugewinnen, indem sie diese Komponenten selbst entwickeln.
Weitere Komponenten fertigen	Sonstige Fahrzeugkomponenten werden weiterhin von klassischen Zulieferern hergestellt, strategisch wichtige Teile auch von den OEMs selbst.
Fahrzeug fertig montieren	Hier sind keine großen Verschiebungen zu erwarten. Interessant könnte die Auftragsfertigung für neue Konsortien unter der Führung ehemals branchenfremder Marktteilnehmer werden, die sich vermehrt um Produktionsaufträge für elektrische Fahrzeuge bewerben.
Qualität kontrollieren	Die Qualitätskontrolle kann aus Sicht der OEMs eine Markteintrittsbarriere sein. Neue, branchenfremde Marktteilnehmer müssten sich dafür in Konsortien zusammenschließen, weil sie nicht über das notwendige Know-how verfügen. Im Niedrigpreissegment ist die Barriere weniger wirksam, weil die Fahrzeuge weniger komplex und die Ansprüche geringer sind. Mithilfe von IKT kann die Qualitätssicherung optimiert werden, zum Beispiel durch automatische Diagnosesysteme. Das ist in der Anfangsphase aber eine echte Herausforderung, weil es noch keine Erfahrungen in diesem Bereich gibt.
Fahrzeug vertreiben	In Europa verliert diese Wertschöpfungsfunktion gegenüber Privatkunden an Bedeutung, weil es für viele künftige Zielgruppen nicht mehr so wichtig sein wird, ein Auto zu besitzen. Die Bedeutung des Vertriebs an Carsharing-Betreiber oder ähnliche Dienstleister wächst dagegen; das wird den Einbruch des Privatmarkts aber nicht kompensieren können, denn es werden insgesamt deutlich weniger Fahrzeuge verkauft. Dagegen steigt in sich entwickelnden Ländern („Emerging Markets“) die Bedeutung des Vertriebs zumindest im nächsten Jahrzehnt weiter an, weil diese Absatzmärkte noch nicht so gesättigt sind wie in Europa.
Fahrzeug ausliefern	Hier sind keine Änderungen abzusehen.
Fahrzeug finanzieren	Durch die Einführung von elektrischen Autos wird es neue Finanzierungsmodelle geben – zum Beispiel speziell für die Batterien, die vor allem in der Anfangszeit noch sehr teuer sind. Neue Allianzen, zum Beispiel zwischen Stromanbietern und OEMs, sind wahrscheinlich. Generell sinkt der Anteil der Fahrzeuge im Privatbesitz zugunsten von geteilt genutzten Fahrzeugen; im Zusammenhang damit verschiebt sich auch der Finanzierungsbedarf.

<b>Funktion</b>	<b>Zu erwartende Veränderungen bis 2030</b>
<b>Fahrzeug erwerben</b>	Vor allem private und öffentliche Flottenkunden sind als Zielgruppe für die Einführung von elektrischen Fahrzeugen wichtig. Für Privatkunden spielt das Eigentum am Fahrzeug eine immer geringere Rolle; Mobilitätsanbieter mit ihren Carsharing-Flotten gewinnen dagegen als Absatzmarkt an Bedeutung.
<b>Mobilität in Anspruch nehmen</b>	Der Anspruch der zukünftigen Zielgruppen in Europa entwickelt sich weg vom dauerhaften Fahrzeugbesitz und hin zum generellen Zugang zu Mobilität.
<b>After-Sales-Leistungen erbringen, Fahrzeug warten</b>	Zu Beginn muss Kompetenz aufgebaut werden, langfristig wird die Wartung durch automatische Problemdiagnose jedoch einfacher. Der Wartung kommt eine wesentlich geringere Bedeutung zu, weil es weniger mechanische Komponenten und damit weniger Verschleißteile im Fahrzeug gibt. Dennoch könnte diese Wertschöpfungsfunktion sich als Barriere für neue Marktteilnehmer erweisen, sodass diese auf Kooperationspartner angewiesen wären.
<b>Mobilitätsdienstleistungen bereitstellen</b>	2030 wird es eine von IKT getriebene neue Mobilität geben, die jeweils den individuell optimalen Verkehrsmittel-Mix bereitstellt (siehe Geschäftsmodell in Abschnitt 5.4). OEMs und neuen Marktteilnehmern eröffnet sich hier Potenzial.
<b>Mobilität durch andere Verkehrsmittel bereitstellen</b>	Die Integration von verschiedenen Verkehrsmitteln zu einem Gesamtverbund wird an Bedeutung zunehmen, da vergleichsweise geringe Reichweiten ein Problem der Elektromobilität bleiben werden.
<b>Software zur Erweiterung der Fahrzeug-Funktionalität erstellen</b>	2030 wird es, wie heute schon für Smartphones, auch für Fahrzeuge Software-Applikationen zur Erweiterung der Funktionalität geben (siehe Abschnitt 5.4). Neue Marktteilnehmer gewinnen hier große Bedeutung, aber auch die Chancen für OEMs sind gut.
<b>Fahrzeug-Funktionalität auf Softwarebasis erweitern</b>	Die oben beschriebenen Applikationen werden im Fahrzeug eingesetzt (siehe Abschnitt 5.4); OEMs und neue Marktteilnehmer können direkte Erlöse im After-Sales-Bereich erzielen.
<b>Energie bereitstellen und abrechnen</b>	Diese Funktion wird durch große Energieversorger dominiert werden, die mithilfe von Abrechnungstarifen, wie sie aus dem Mobilfunkmarkt bekannt sind, zum Beispiel Strom-Flatrates oder Billig-Ladetarife, Energie bereitstellen. Allerdings werden auch OEMs versuchen, sich durch Kooperationen oder Akquisitionen Teile dieser Wertschöpfung anzueignen.

## 5.2.3 Im Detail: Wertschöpfungsfunktionen mit IKT-Bezug

### 5.2.3.1 IKT-Hardware

IKT-Hardware wird in Zukunft einerseits für den Zentralrechner, andererseits für hochintegrierte mechatronische Komponenten benötigt.

Im Bereich der Zentralrechner wird es zu einer Standardisierung kommen. Die geringere Spezifität der Rechner erhöht den Wettbewerb zwischen den Zulieferern, da nun auch Tier-2-Zulieferer ohne Integrations-Know-how in der Lage sind, diese zu entwickeln und herzustellen. Dadurch sinken die Kosten der Zentralrechner. Zudem verlagert sich die Wertschöpfung in diesem Bereich durch die Standardisierung nicht nur zwischen den Zulieferern, sondern es besteht auch die Gefahr, dass die Wertschöpfung durch ausländische Marktteilnehmer erbracht werden könnte.

Im Bereich der hochintegrierten mechatronischen Komponenten bietet sich hingegen für Tier-1-Zulieferer die Möglichkeit, den bisherigen Grad an Wertschöpfung zu erhöhen, da vor allem deutsche Zulieferer über das geforderte Integrations-Know-how verfügen und der Bedarf an diesen Komponenten zunehmen wird. Dieser Vorsprung kann als Markteintrittsbarriere gegenüber ausländischen Marktteilnehmern eingesetzt werden.

### 5.2.3.2 IKT-Basissoftware

Für eine neuartige IKT-Systemarchitektur wird es nur wenige Standard-Betriebssysteme geben. Die geringe Anzahl an Standard-Betriebssystemen verschärft den Wettbewerb unter den Anbietern und wird tendenziell zu oligopolistischen Strukturen in einem globalen

Markt führen. Zulieferer aus Deutschland verfügen zwar über Erfahrungen mit den AUTOSAR-Lösungen und sind dadurch gut für die Zukunft gerüstet. Diese Erfahrungen müssen jedoch weiterentwickelt werden, um auf Dauer dem internationalen Wettbewerb gewachsen und Lösungen überlegen zu sein, die aus anderen Bereichen stammen, zum Beispiel der Robotik, und an den Automobilbereich angepasst werden.

### 5.2.3.3 Architektur und Standards

Bei der Entwicklung einer neuen IKT-Architektur müssen Schnittstellen und Standards sowie die Architektur an sich festgelegt und vorgegeben werden. Die Basissoftware gewinnt an Bedeutung und wird stärker vereinheitlicht; die Integration von Komponenten wird einfacher wegen der geringeren Zahl an Steuergeräten; Sensoren und Aktoren sind über das Laufzeitsystem erreichbar.

Das führt zu einem Plus an Transparenz, und das erhöht wiederum den Wettbewerb unter den Zulieferern, weil mit der Einführung von Standards Eintrittsbarrieren für neue Marktteilnehmer wegfallen. Die Standardisierung ermöglicht außerdem eine zusätzliche Form der Wertschöpfung in Form der After-Sales-Funktion, und Extras können im Extremfall allein auf Softwarebasis nachgerüstet werden. Damit einher geht eine Öffnung der Plattform; Netzwerkeffekte sorgen für zusätzliche Attraktivität und für Wertzuwachs.

Es besteht jedoch die Gefahr, dass ausländische Anbieter, zum Beispiel aus Asien, schneller sind und eine neue IKT-Architektur schaffen, die den deutschen Marktteilnehmern mitsamt geeigneter Basissoftware dann auferlegt würde. Die Wertschöpfung in diesem

Bereich würde sich dann nicht nur zwischen den Zulieferern innerhalb Deutschlands, sondern vollständig ins Ausland verschieben.

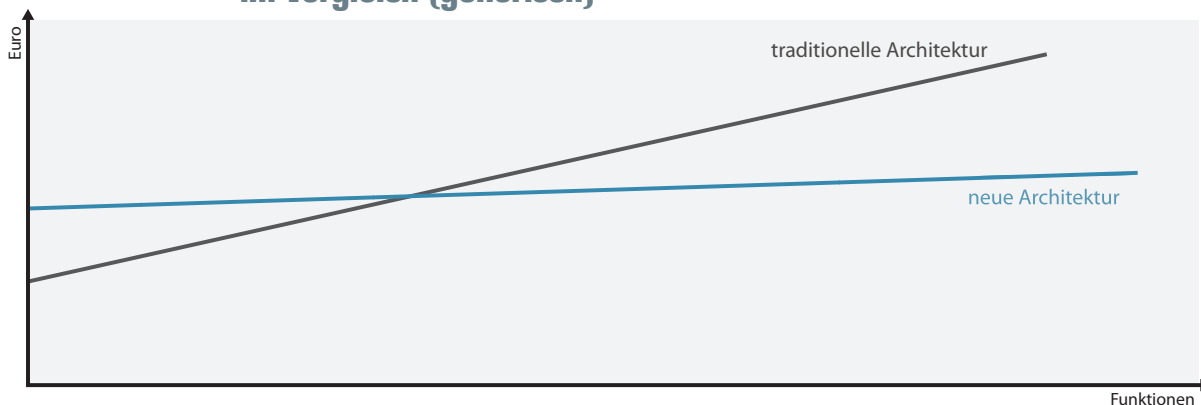
### 5.2.3.4 Applikationssoftware

Eine neue IKT-Architektur bietet ein höheres Abstraktionsniveau, weil Funktionen weitgehend hardware-unabhängig in Software entwickelt werden und statt auf Steuergeräte- zukünftig auf Middleware-Ebene integriert werden können. Dadurch ergeben sich Gestaltungsspielräume für neue, rein softwarebasierte Anwendungen und eine gleichzeitige Öffnung des Markts für Softwarehersteller, die bislang nicht im Automobilmarkt aktiv waren. Die Wertschöpfung dieser Unterfunktion verschiebt sich hier also nicht nur von den Tier-1- zu den Tier-2-Zulieferern, sondern auch zu branchenfremden Marktteilnehmern, möglicherweise aus dem Ausland, oder zu OEMs, die sich damit ein zusätzliches Differenzierungsmerkmal schaffen. Weiteres Erlöspotenzial für OEMs birgt das Anpassen („Customizing“) von Fahrzeugen durch Software-Apps.

### 5.2.3.5 Zusammenfassung

Die traditionelle IKT-Architektur gerät tendenziell in eine Komplexitätsfalle. Gleichzeitig wächst die Gefahr, dass deutsche Marktteilnehmer nicht schnell genug reagieren und eine neue, vereinfachte IKT-Architektur von Anbietern aus dem Ausland auferlegt bekommen. Die OEMs haben nicht nur die Aufgabe, Schnittstellen zu bestimmen, sondern sie müssen auch die Architektur vorgeben, um entscheidende Wertschöpfungsanteile nicht zu verlieren. Durch diese Vorgabe und durch Transparenz infolge einer neuen Standardarchitektur werden die Integration der Komponenten und ihre Interaktion erleichtert, was einerseits Chan-

**Abbildung 18: Kostenkurven einer alten und neuen IKT-Architektur im Vergleich (generisch)**



cen, aber auch Risiken für die deutsche Zulieferindustrie mit sich bringt. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass reine Software-Zulieferer entstehen. Der Wert eines Fahrzeugs wird auch dadurch beeinflusst, dass Applikationen und weitere Extras verfügbar sind und das Auto auch nach dem Kauf noch an Kundenwünsche angepasst werden kann. OEMs sollten daher eine offene Plattformpolitik betreiben, um diesen Teil der Wertschöpfung mit beeinflussen und den Wert ihrer Produkte indirekt steigern zu können.

Eine neue Architektur ermöglicht es, durch die Vernetzung der Systeme bestehende Funktionen zu geringeren Kosten umzusetzen und neue Anwendungen

einzuführen. Verschiedenen Marktteilnehmern eröffnet sich so die Möglichkeit, neue Produkte und Geschäftsmodelle anzubieten. Die in *Abbildung 18* dargestellte Kostenkurve einer neuen Architektur wird auf einem höheren Niveau starten, was sich durch anfängliche Standardisierungs- und Entwicklungskosten erklärt. Danach wird sie jedoch deutlich flacher als die Kurve der alten Architektur verlaufen, weil einfacher auf bestehende Ressourcen zurückgegriffen werden kann und funktionale Erweiterungen deshalb vergleichsweise kostengünstig sein werden. Im Extremfall können Funktionen sogar kostenlos in Form reiner Softwarelösungen angeboten werden, um Kunden an die OEMs zu binden.

## 5.3 | Geschäftsmodelle

Im folgenden Abschnitt werden drei Geschäftsmodelle exemplarisch dargestellt: die Individualisierung („Customizing“) von Fahrzeugen durch Software-

Applikationen („Apps“), die IKT-basierte intermodaloptimierte Mobilitätsdienstleistung und die Herstellung von ergänzenden IKT-Komponenten.

### 5.3.1 Fahrzeug-Individualisierung durch Software-Applikationen

Die gestiegene Bedeutung der IKT für die Wertschöpfung im Automobilbereich und die neue Architektur, die rein softwarebasierten Anwendungen im Fahrzeug neue Potenziale eröffnet, machen es möglich, Software-Applikationen während der gesamten Lebensdauer eines Fahrzeugs abzusetzen.

#### 5.3.1.1 Produktarchitektur

Kunden können Software-Applikationen auf den IT-Systemen der Fahrzeuge installieren und die Fahrzeuge damit individuell anpassen. Diese Apps können mithilfe der IKT-Architektur auf nicht sicherheitskritische Informationen und Funktionen des Fahrzeugs zugreifen, aber auch Anwendungen bereitstellen, die davon unabhängig sind.

#### 5.3.1.2 Leistungserstellungsmodell

Grundsätzlich kann eine Plattform für Anwendungen im Automobil offen oder geschlossen betrieben wer-

den.<sup>81</sup> Es kann ein Anreiz für OEMs sein, das gesamte Ökosystem zu kontrollieren, so wie es Apple im iStore handhabt. Dafür, das anzustreben, sprechen die teils extrem hohen Anforderungen an die Sicherheit der Anwendungen (vor allem dann, wenn sie in das Fahren eingreifen) sowie das strategische Ziel, die gesamte Wertschöpfungskette abzudecken. Für offene Plattformen, etwa das Mobil-Betriebssystem „Android“, das unter Federführung von Google entwickelt wird, spricht der Trend, dass immer mehr Individualisierung gefragt wird und dass sich Anpassungen mit offenen Systemen leichter bewerkstelligen lassen. Während Kernanwendungen, die von der Mehrheit der Fahrer gewünscht werden, vom OEM bereitgestellt werden können, bedarf es für das Erfüllen von Sonderwünschen der Mitwirkung von Drittanbietern. Die gegenwärtigen Bemühungen von Ford, Volkswagen und Audi zeigen, dass eher offene Plattformen zu erwarten sind.

81) West (2003), S. 1259ff.

### 5.3.1.3 Erlösmodelle

OEMs als Plattformbetreiber: Hersteller von Autos stellen die Plattform für Anwendungen zur Verfügung, zusammen mit Werkzeugen für Entwicklung und Qualitätsmanagement sowie mit dem Vertriebskanal. Denkbar wäre ein Marktplatz für Anwendungen, auf den Kunden direkt aus dem Fahrzeug zugreifen können. Die Wertschöpfung auf dieser Stufe wird direkt und indirekt realisiert: Indirekt wird das Elektroauto als System attraktiver, je mehr zusätzliche Anwendungen dafür angeboten werden. Damit kann sich ein OEM mit einer besonders erfolgreichen Plattform – etwa durch besonders gute oder zahlreiche Applikationen – im Wettbewerb differenzieren und den Absatz steigern. Auch direkt können OEMs mit dem Vertrieb von Applikationen Geld verdienen, und zwar auf zwei verschiedene Arten: entweder durch ihren Verkauf oder durch die Erhebung nutzungsabhängiger Entgelte. In beiden Fällen können OEMs einen Teil des Erlöses als Provision von Drittanbietern verlangen. Deren Höhe kann von weiteren Faktoren abhängen, etwa dem Verkaufspreis, der Anzahl der verkauften Anwendungen oder deren Art. Beispielsweise könnte für eine reine Infotainment-Anwendung eine

geringere Provision verlangt werden als für eine Anwendung, die in das Fahrwerk eingreift.

Anwendungsentwickler liefern einerseits den OEMs Software-Funktionen zu und erzielen damit Erlöse, andererseits können sie auch in direkten Kontakt mit Endkunden treten; Fahrzeughersteller treten in diesem Fall nur als Vermittler beziehungsweise als Betreiber von Software-Marktplätzen auf. Im direkten Kundenkontakt können die Entwickler für ihre Anwendung entweder einen einmaligen Verkaufspreis erzielen oder ein Abomodell anbieten, das auf Nutzungszeit oder -intensität basiert. Indirekte Erlösmodelle, die Alternative zur Bezahlung durch Endnutzer, sind von Internet- und Smartphone-Anwendungen bekannt: Anbieter von Anwendungen, die zum Beispiel Restaurants, Tankstellen oder Werkstätten entdecken und empfehlen, können dafür Provisionen kassieren. Kostenlose Anwendungen lassen sich zudem finanzieren, indem Werbung eingeblendet wird oder fahrerspezifische Daten an die werbetreibende Wirtschaft verkauft werden. Der Schutz der Privatsphäre und personenbezogener Daten ist bei dieser Form der Monetarisierung besonders wichtig.

## 5.3.2 Nachrüsten von Fahrzeugen mit IKT-Komponenten

In Abschnitt 5.2.3 wurde die Bedeutung der Wertschöpfungsfunktion „IKT-Komponenten entwickeln und fertigen“ beschrieben. Ein Geschäftsmodell dafür könnte wie folgt aussehen.

### 5.3.2.1 Produktarchitektur

Wenn OEMs eine neue IKT-Architektur einführen, können sie damit einen faktischen Standard schaffen, indem sie die dazugehörigen Schnittstellen und Architekturmerkmale vorgeben. Andere Hersteller können auf diesem Weg Erweiterungen in Form komplementärer Fahrzeugkomponenten anbieten. Zum einen lassen sich Hardware-Komponenten nachträglich einbauen. Zum anderen können Fahrzeugfunktionen mittels verschiedener Software-Applikationen hinzugefügt oder erweitert werden, bereits enthaltene Sonderfunktionen können freigeschaltet werden.

### 5.3.2.2 Leistungserstellungsmodell

OEM-spezifische Standardvorgaben ermöglichen es neuen Marktteilnehmern, auch solchen aus fremden Bran-

chen, IKT-Komponenten zu entwickeln oder zu fertigen und als OEM-Zulieferer aufzutreten. Genaue Vorgaben von den OEMs machen es zudem möglich, IKT-Komponenten im Ausland entwickeln und fertigen zu lassen.

### 5.3.2.3 Erlösmodelle

Die Hardware-Komponenten können an Endkunden verkauft oder vermietet werden, wodurch direkte Erlöse erzielt werden. Auch die Software kann verkauft oder temporär lizenziert werden. Denkbar sind spezielle Angebote für unterschiedliche Zielgruppen, zum Beispiel für Fahrzeugflotten. Auch für Applikationen existieren die Möglichkeiten des Kaufs oder zeitlich begrenzter Nutzung, zum Beispiel zur Freischaltung der Sitzheizung mit minutengenauer Abrechnung. Standardvorgaben ermöglichen es den OEMs außerdem, Lizenzen an Hersteller von IKT-Komponenten zu vergeben und so fixe oder umsatzabhängige Erlöse zu erzielen. Das führt zu Netzwerkeffekten, die das Fahrzeug wegen der höheren verfügbaren Funktionalität als Plattform attraktiver und somit wertvoller machen.



## 5.3.3 Intermodale Mobilitätsdienstleistung

Dieses Geschäftsmodell folgt dem gesellschaftlichen Trend eines gestiegenen und weiter steigenden Mobilitätsanspruches bei sinkender Bedeutung des Eigentums am Fahrzeug und des damit verbundenen Prestiges. Anbieter stellen Mobilität bereit, die mithilfe von Informations- und Kommunikationstechnik sowie der jeweils am besten geeigneten Verkehrsmittel nach individuellem Bedarf kombiniert und optimal realisiert wird. Das Geschäftsmodell ist auf die spezifischen Eigenschaften von Elektrofahrzeugen ausgerichtet: Das Problem der Reichweitenbegrenzung wird durch eine Verknüpfung mit anderen Verkehrsmitteln aufgehoben. Zudem sind Elektrofahrzeuge, wegen ihrer geringen Wartungsanfälligkeit und der einfachen Anpassbarkeit an die Bedürfnisse des Carsharings mittels Softwarelösungen auf der Basis der neuen IKT-Architektur, gut für die Nutzung durch viele Fahrer geeignet.

### 5.3.3.1 Produktarchitektur

Aus Endkundensicht besteht die Dienstleistung darin, dass individuelle Mobilität bereitgestellt wird: Kunden definieren Start und Ziel der Reise, Dienstleister stellen mit IKT-Unterstützung Verbindungsalternativen zusammen, die sich aus verschiedenen Verkehrsmitteln zusammensetzen können. Zum Beispiel kann die Reise mit dem Carsharing-Elektrofahrzeug zum Bahnhof gehen, von dort mit der Bahn zum Flughafen und mit dem Flugzeug weiter zum Zielflughafen, wo ein weiteres Elektroauto für die restliche Strecke bereitsteht. Auch für Organisation und Abrechnung der Reise sorgt ein Dienstleister.

Um ganzheitliche Mobilitätsdienste anbieten zu können, müssen weitere Systeme, etwa serverbasierte Koordinationssysteme oder mobile Kommunikationsendgeräte, in die IKT-Architektur von Elektrofahrzeugen integriert werden. Zu dem Zweck muss die Architektur so gestaltet sein, dass auch externe Dienste auf Daten wie Kilometerstand oder Fahrverhalten sowie auf Funktionen wie das Öffnen und Schließen der Tür oder individuelle Fahreinstellungen zugreifen können.

Für die Automobilwirtschaft leitet sich der wesentliche Effekt dieser Änderung daraus ab, dass Anschaffung, Unterhalt und Nutzung eines Fahrzeugs nicht auf eine Person oder einen Haushalt vereint sind. Stattdessen werden Fahrzeuge dynamisch angepasst und von vielen Fahrern genutzt. Diese verteilte Nutzung führt dazu, dass weniger Autos verkauft werden.

### 5.3.3.2 Leistungserstellungsmodell

Um solche umfassenden Mobilitätsdienste anbieten zu können, müssen sich alle daran beteiligten Marktteilnehmer miteinander vernetzen: Je mehr Angebote ein System umfasst, desto attraktiver ist es. Außer Fahrzeugherstellern gehören zum neuen Netzwerk auch Autovermietungen, Mobilitätsunternehmen wie die Deutsche Bahn, Fluglinien, Unternehmen des Öffentlichen Personen-Nahverkehrs (ÖPNV) sowie Joint Ventures zwischen OEMs und ÖPNV-Unternehmen. Die Rolle des Mobilitätsdienstleisters, der die Verkehrsmittel zusammenstellt und den Kontakt zu den Kunden hält, kann eines dieser Unternehmen übernehmen. Der Markt für diesen Service wird aber auch offen sein für neutrale Dienstleister, zum Beispiel Telekommunikations- oder Internetunternehmen oder spezialisierte Neugründungen.

### 5.3.3.3 Erlösmodelle

Aus den verschiedenen Rollen der Unternehmen im Markt für Mobilität ergeben sich verschiedene Erlösmodelle. Wichtige Akteure in zukünftigen Mobilitätskonzepten sind Koordinatoren, die das Angebot an und die Nachfrage nach Fortbewegungsmitteln dynamisch kanalisieren. Diese Dienstleister müssen Informationen über Standorte und Verfügbarkeit von Fahrzeugen und anderen Verkehrsmitteln sammeln, aufbereiten und zur Verfügung stellen. Außerdem wird es ihre Aufgabe sein, den Zugang zu den Fahrzeugen sicherzustellen sowie die Nutzung aufzuzeichnen und abzurechnen. Abgerechnet werden kann entweder pro Einzelnutzung oder über ein Abomodell mit darin enthaltener Kilometerleistung. Abhängig von der Auslastung können Rabatte eingeräumt und so die Mobilitätsnachfrage beeinflusst werden, um Standzeiten beziehungsweise Leerfahrten zu vermindern.

Automobilhersteller erzielen Erlöse mit Verkauf oder Leasing von Fahrzeugen, die an die geteilte Nutzung angepasst sind. Diese Anpassungen können von geringfügigen Änderungen an Serienfahrzeugen bis hin zu Sonderanfertigungen und eigenen Modellen reichen. Fahrerindividuelle Sonderausstattungen können auf Softwarebasis realisiert werden; die jeweiligen Fahrerprofile werden nach Identifikation der Fahrer geladen. Mit solchen Angeboten lassen sich möglicherweise zusätzliche direkte Erlöse erzielen. Darüber hinaus gibt es Erlöspotenziale in den Bereichen Fahrzeugwartung, Flottenmanagement sowie Finanzierung und Versicherung.

KAPITEL 6

# Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken des Standorts Deutschland

Auf der Grundlage der Szenarien und der Änderung im Wertschöpfungsnetzwerk wurden im Rahmen des Projekts die Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken des Automobilstandorts Deutschland analysiert.

Starken Einfluss hatten zudem die Experteninterviews, die für diesen Bericht geführt wurden. Die Ergebnisse dieser „SWOT-Analyse“ sind in *Abbildung 19* zusammengefasst und werden nachfolgend erläutert.

## 6.1 | Stärken

Zu den Stärken Deutschlands zählt ohne Zweifel, dass die Bundesregierung eine konstruktive, Innovationen fördernde Rolle bei der Ausgestaltung wichtiger Produktionsfaktoren – besonders Bildung, Wissenschaft und Technologie – und bei der innovationsfördernden Regulierung, etwa in den Bereichen Umwelt und Sicherheit, eingenommen hat. Die Gründung der „Nationalen Plattform Elektromobilität“ (NPE) unterstreicht den politischen Willen der Bundesregierung; das Gremium dürfte weltweit einmalig sein. Auch in Europa hat die deutsche Politik Gestaltungsmöglichkeiten und befindet sich in einer starken Verhandlungsposition.

Die staatlichen Investitionen in Bildung und Forschung werten den Produktionsfaktor Wissen auf, der in Deutschland ohnehin stark ist. Insgesamt führen sie zu einer deutlichen Faktorenaufwertung, sei es im dualen beruflichen Ausbildungssystem, an Fachhochschulen und Universitäten oder durch die Arbeit effektiver Forschungsverbünde wie der Max-Planck- oder der Fraunhofer-Gesellschaft. An dieser Aufwertung von Produktionsfaktoren sind auch Unternehmen und Verbände stark beteiligt. Eine besondere Rolle spielt in diesem Zusammenhang die international

einzigartige „Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen“ (AiF), die Unternehmen und Wissenschaft miteinander vernetzt und eine Brücke zwischen Grundlagenforschung und vorwettbewerblicher, aber anwendungsorientierter Forschung schlägt.

Ein Ansporn für diese privat wie öffentlich betriebene Faktorenaufwertung ist die Einsicht in die Tatsache, dass Deutschland im Vergleich zu konkurrierenden Volkswirtschaften Nachteile hinsichtlich der Produktionsfaktoren ausgleichen muss: Es besitzt kaum Rohstoffe, und die Löhne sind hoch.

Die offensichtlichste Stärke Deutschlands in der kommenden Ära der Elektromobilität ist die Weltgeltung seiner Automobilindustrie; ihr werden enorme Erfahrung und Kompetenz zugeschrieben. Das gilt besonders in den BRIC-Schwellenländern (Brasilien, Russland, Indien und China), wo deutsche Autohersteller starke Positionen in Produktion und Vertrieb haben. Nicht nur auf der technischen Seite, zum Beispiel beim Know-how in der Serienproduktion, genießen deutsche Unternehmen einen ausgezeichneten Ruf, sondern auch bei Design und Vertrieb. Die sehr anspruchsvolle Kundschaft in Deutschland fordert eine hohe Innovati-



onsfähigkeit von der Automobilindustrie. Deutsche Fahrzeuge enthalten Funktionen, die in ihrer Komplexität in anderen Ländern nicht zu finden sind. Gleichzeitig sind deutsche Hersteller Weltmeister in der Individualisierung von Fahrzeugen: Keine andere Nation bietet den Autofahrern so viele Möglichkeiten, sich individuelle Fahrzeuge zusammenzustellen – und das auf Basis eines hochkomplexen IKT-Systems.

Der Leistungsfähigkeit seiner Automobilindustrie entsprechend, hat Deutschland technologische Führungspositionen in Fahrzeugbau, Leichtbau, Elektromotoren-Technologie und Fahrzeugelektronik inne und liegt in der Funktechnologie immerhin auf einem der vorderen Plätze. Eine herausragende Position nimmt Deutschland in der Sensorik ein: Hier haben deutsche Unternehmen nicht nur einen tech-

## Abbildung 19: Zusammenfassung der SWOT-Analyse

STÄRKEN (STRENGTHS)	SCHWÄCHEN (WEAKNESSES)
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Regierung fördert Elektromobilität durch Stärkung von Bildung, Wissenschaft und Technologie sowie durch Regulierung und Gründung der „Nationalen Plattform Elektromobilität“ (NPE)</li> <li>● Hohes Bildungsniveau und Vernetzung zwischen Industrie und Wissenschaft gleichen Standortnachteile (hohe Löhne, kein Öl) aus</li> <li>● Gut positionierte und profitable Branchen (Auto, Energie, Chemie)</li> <li>● Starke Cluster (Metallverarbeitung, Maschinenbau, Optik, Sensorik)</li> <li>● Technologische Führung in Fahrzeugbau, Leichtmetallbau, E-Motoren, Fahrzeugelektronik, Sensorik, Mechatronik, Embedded Systems, Car-to-X, erneuerbare Energien</li> <li>● Sehr hohe Systemkompetenz</li> <li>● Anspruchsvolle Kunden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Unterschätzung der Relevanz von IKT</li> <li>● Unbefriedigende Kooperation zwischen Auto-, Energie- und IKT-Branchen</li> <li>● Große Linie fehlt – und damit Kriterien, Prioritäten und angemessene organisatorische Strukturen</li> <li>● Verschwendung von Ressourcen in unkoordinierten Aktivitäten</li> <li>● Mangelnde Transparenz – unzureichendes Wissensmanagement</li> <li>● Zögern und Zeitverlust („Paralyse durch Analyse“)</li> <li>● Sättigung und Trägheit durch hohen Wohlstand</li> <li>● NPE: spartenmäßig organisiert, dominiert von mächtigen Verbänden; die „Kleinen“ fehlen; keine Arbeitsgruppe für IKT; Kundensicht fehlt</li> </ul>
CHANCEN (OPPORTUNITIES)	RISIKEN (THREATS)
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Mobilitätsbedarf in reifen Industrienationen und Entwicklungsländern, vor allem „BRIC“-Staaten: Brasilien, Russland, Indien, China</li> <li>● Zunehmende Urbanisierung und Entstehung von Mega-Citys</li> <li>● Negative Nebenwirkungen des Autofahrens (Ölverbrauch, CO<sub>2</sub>-Emissionen, Unfälle, langsame Fortbewegung durch Staus) werden abgeschwächt</li> <li>● Konvergenz von Auto- und IKT-Industrie fördert wirtschaftliche Entwicklung</li> <li>● Neue IKT-Architektur fördert Innovation und Wachstum, senkt Komplexität und Kosten und erlaubt neue Funktionalität</li> <li>● Nachhaltige Mobilität: umwelt- und ressourcenschonend, sicher, mit neuen Anwendungen, kostengünstig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Aggressive Programme in mehreren Ländern (USA, China, Japan etc.)</li> <li>● Andere sind schneller bei der Entwicklung von Elektroauto und Mobility Internet</li> <li>● Fixierung der deutschen Autoindustrie auf Premiumsegment</li> <li>● Unterschätzung disruptiver Innovationen; neue Marktteilnehmer könnten Szenario „Low Cost, High Functionality“ verwirklichen</li> <li>● Elektromobilität wird nicht ganzheitlich betrachtet, sondern aufgeteilt in einzelne Technologien</li> <li>● Mangelndes Verständnis sich ändernder Kundenwünsche</li> <li>● IKT wirkt als Kostentreiber, falls alte Architektur weiterentwickelt wird</li> <li>● Schwächung der Autoindustrie im internationalen Vergleich würde deutsche Gesamtproduktivität und Lebensstandard beeinträchtigen</li> </ul>

nologischen Vorsprung, sondern mit 30 Prozent Anteil am Weltmarkt auch die größte Marktdurchdringung.<sup>82</sup> Das ist ein großes Plus gegenüber den USA, die über keinen nennenswerten Maschinenbau verfügen, und gegenüber anderen internationalen Wettbewerbern, deren Kompetenz auf dem Feld der Sensorik sich jeweils auf bestimmte Branchen beschränkt. Was IKT-Applikationen für Fahrzeuge betrifft, haben deutsche Autohersteller schätzungsweise einen Vorsprung von sieben Jahren gegenüber der internationalen Konkurrenz.<sup>83</sup>

Deutschland verfügt auch über sehr starke Cluster in weiteren Branchen, die für die Entwicklung der Elektromobilität wichtig sind, zum Beispiel Metallverar-

beitung, Maschinenbau, Chemie und Optik. Dank dieser Kompetenzen sind alle für die Elektromobilität notwendigen Technologien hierzulande mindestens prinzipiell und prototypisch verfügbar. Die Unternehmen in diesen Branchen beherrschen zudem komplexe Produktionsprozesse und entwickeln erfolgreich differenzierte Produkte. Ihre wirtschaftliche Stärke zeigt sich auch daran, wie schnell sich die deutsche Industrie von den Folgen der Finanzkrise erholt hat.

In Deutschland ist damit in besonderem Maß die erforderliche Systemkompetenz vorhanden, um die komplexe Herausforderung einer vernetzten Elektromobilität zu bewältigen.

## 6.2 | Schwächen

Die künftige Entwicklung von IKT für Elektromobilität wird sich in einem Dreieck vollziehen, das intelligente Elektrofahrzeuge („Smart Cars“), intelligente Stromnetze („Smart Grids“) und intelligente Verkehrsinfrastruktur („Smart Traffic“) umfasst. Die Informations- und Kommunikationstechnik erhält damit eine neue Relevanz, die weit über die Unterstützungs- und Querschnittsfunktionen hinausgeht, die sie derzeit im Autosektor ausübt. Denn ohne IKT und Sensorik sind kein intelligentes Energie- oder Verkehrsmanagement möglich. Diese Relevanz der IKT und ihre betriebswirtschaftliche Bedeutung mit Bezug auf den Kundennutzen werden in Deutschland unterschätzt: „Das Fahrzeug kann zur Commodity werden, seine IKT-basierten Funktionalitäten nicht!“, prognostiziert ein Marktkenner; ein anderer fasst bündig zusammen: „Die Deutschen reden über Batterie, die anderen über IKT.“

Um marktgängige Elektroautos realisieren zu können, wäre es aufgrund der Konvergenz der Technologien in vielen Bereichen erforderlich, dass die zentralen Branchen Auto, Energie und IKT eng zusammenarbeiten. Diese Zusammenarbeit verläuft aber bisher unbefriedigend. Obwohl disruptive Umbrüche in Form zunehmender Elektrifizierung im Autosektor und der Digitalisierung im Energiesektor große Chancen zu Kooperationen mit sich bringen, tun beide Branchen sich damit offenbar sehr schwer. Sie gefährden damit ihre Zukunftsfähigkeit.

Der mangelnde Konsens verunsichert auch die Zulieferindustrie stark. „Man weiß nicht, wohin die Reise geht. Die Politik sagt: Die Batterie kommt; stell dich darauf ein! Die Industrie sagt: Mach mal langsam“, klagt ein Zulieferer. Standards schaffen, Schnittstellen definieren, sich auf Rahmenbedingungen der Elektromobilität verständigen: Das sind entscheidende Vorarbeiten, die schnell angegangen werden müssen. Stattdessen wird noch immer um einfache Standardisierungen gefeilscht, sowohl auf nationaler wie auf europäischer Ebene. Dass sich deutsche Unternehmen zunehmend aus Standardisierungsgremien zurückziehen, ist vor diesem Hintergrund ein Alarmsignal.

115 Millionen Euro, die für die 150 Projekte in den Modellregionen aufgewendet werden, sind nach Ansicht von Kritikern zum großen Teil verloren, weil vieles doppelt und dreifach erprobt werde. Geradezu grotesk sei es, wenn in diesen Projekten Produkte getestet würden, die längst Serienreife erreicht hätten, wie etwa Elektroroller, Stromladesäulen oder Hybridbusse. Das Urteil eines Marktkenners: „Es werden Millionen in separaten Ansätzen und Komponentenentwicklungen verschwendet.“ Es hat den Anschein, als würden derzeit eher Fördergelder abgegriffen anstatt mit unternehmerischem Mut die wirklich wichtigen Themen angepackt. Dazu gehören Smart Grid oder Perspektiven der Serienproduktion, von der Integration der IKT als Treiber der Elektromobilität ganz zu schweigen.

82) <http://www.ama-sensorik.de/site/de/289/wirtschaftliche-bedeutung.html> 83) Experteninterviews

Offenbar ist die Industrie in dieser für sie ungemütlichen Übergangssituation auf noch klarere Vorgaben der Politik angewiesen. Die technischen Voraussetzungen für den Einstieg in die Elektromobilität sind prinzipiell vorhanden; zu ihrer schnellen Verwirklichung fehlt nach Auffassung führender Industrievertreter jedoch der politische Biss. Eine konsistente Strategie der Regierung sei derzeit nicht erkennbar. Es fehle die große, visionäre Linie, auch auf europäischer Ebene, und damit Prioritäten, Kriterien sowie angemessene organisatorische Strukturen.

Die Planungsunsicherheit wird dadurch verstärkt, dass der institutionelle Rahmen zur Verwirklichung der Elektromobilität ausgesprochen fragil ist. Viele Instanzen kümmern sich um Elektromobilität, es gibt jedoch kein abgestimmtes, konzertiertes Vorgehen: „Acht Modellregionen und sieben regionale Modellprojekte werden nach dem Gießkannenprinzip gefördert – wäre es nicht besser, eine Region richtig zu fördern?“, fragt ein Kritiker. Erschwerend kommt hinzu, dass Erkenntnisse aus abgelaufenen Projekten zu selten mit Mitteln des Wissensmanagements dokumentiert und für neue Projekte fruchtbar gemacht werden. So gehen Geld und Zeit verloren.

Es fehlt ein durchsetzungsfähiges Exekutivorgan, das Schlüsseltechnologien identifiziert und ihre Entwicklung vorantreibt. Als zentrales Beratungsgremium der Politik in Sachen Elektromobilität wurde zwar in jüngster Zeit die NPE etabliert, eine sehr gute Initiative, die aber diversen Interviewpartnern zufolge noch viel Verbesserungspotenzial aufweist:

„Die NPE ist zu spartenmäßig organisiert und wird zu sehr von mächtigen Verbänden dominiert. Diese Verbände sind nicht in der Lage, eine ergebnisoffene Diskussion zu führen. Sie kauen zudem die Themen in gespiegelten internen Arbeitsgruppen noch einmal durch, was den Prozess enorm verlangsamt.“

„Die NPE ist ein netter Debattierclub des Establishments. Es fehlen wichtige Stakeholder! Dazu gehören viele mittlere und kleine Unternehmen (obwohl die 76 Prozent der Innovationen beisteuern und 96 Prozent der Steuern zahlen). Es fehlen querdenkende Problemlöser, und es fehlen selbst riesige Verbraucherorganisationen wie der ADAC.“

„Die NPE befasst sich dementsprechend zu sehr mit Technologie, zu wenig mit Vermarktung und Marketing.“

„Der NPE mangelt es an einer Einigung auf gemeinsame Ziele; sie hat die Grenze zwischen vorwettbewerblicher gemeinsamer Ebene und individueller Wettbewerbsebene nicht definiert. Die rechtlichen Rahmenbedingungen für die NPE-Teilnehmer sind unzureichend. Es fehlen zielführende Spielregeln für den Umgang miteinander. Das schafft Misstrauen.“

„Die NPE ist keine langfristige und auf Dauer angelegte Institution.“

Darüber hinaus fällt auf, dass der Zwischenbericht der NPE kaum auf die Bedeutung der IKT im Bereich der Elektromobilität eingeht.<sup>84</sup>

Nach heutiger Sichtweise hat die Batterie den höchsten Wertschöpfungsanteil am Elektroauto; von der Wertschöpfung der Batterie stecken wiederum 75 Prozent in ihren Zellen. Es gibt aber bisher praktisch keine Batteriezellen-Produktion in Deutschland. Einzig Evonik und Daimler betreiben eine Pilot-Anlage, die derzeit 300.000 Zellen pro Jahr produziert und bis 2013 auf eine Jahresproduktion von drei Millionen erweitert werden soll. Mit dem Technologiewachstum und den Skalenfortschritten, die in den nächsten 20 Jahren zu erwarten sind, ist die zentrale Rolle der Batterie in Bezug auf die Wertschöpfung jedoch fragwürdig.

In den Fachgebieten, die für die Elektromobilität entscheidend sind – etwa Elektrochemie, Leistungselektronik und Informatik –, gibt es nicht genügend ausgebildete Fachkräfte. Auch strukturell beziehungsweise wirtschaftspsychologisch scheint Deutschland Schwierigkeiten zu haben, in neu entstehenden Industrien langfristig erfolgreich zu konkurrieren – wie die Beispiele aus den Bereichen Elektronik und Informationstechnik zeigen – oder neue Unternehmen zu gründen. Das gilt selbst dann, wenn die technologischen Grundlagen dieser Industrien aus deutschen Forschungslabors stammen. Deutsche Unternehmen haben es in relativ vielen Fällen nicht geschafft, ihre Spitzen-Forschungsleistungen in den Markt zu bringen, diese Ansicht ist in Fachkreisen verbreitet. Japan sei zum Beispiel viel schneller bei der Einführung neuer Produkte. Zu wenig Risikobereitschaft und zu großen Perfektionsdrang – kurz: „Paralyse durch Analyse“ – vermutet ein Beobachter als Grund dieser deutschen Schwäche. So werde besonders der Automobilbau in Deutschland vorrangig von Ingenieuren vorangetrieben; die seien aber nun einmal sehr zurückhaltend, wenn es darum gehe, mit neuen Pro-

84) NPE (2010), S. 39



dukten in den Markt zu drängen. Das Beispiel des deutschen Zögerns beim Hybridauto belege diese Ansicht. Vorsicht und Vernunft, heißt es häufig, walteten auch dort, wo es gelte, Emotion und Leidenschaft zu zeigen, um erfolgreich zu sein.

Viele dieser Schwächen sind aber wahrscheinlich auch zum großen Teil Folgen davon, dass in der deutschen Politik und Wirtschaft eine wesentliche Erkenntnis noch

nicht wirklich angekommen ist: Nur aus ökologischen Gründen werden sich Elektrofahrzeuge nicht bei den Kunden durchsetzen. Wer zum Leitanbieter beziehungsweise Leitmarkt für Elektromobilität werden will, muss den Verbrauchern vielmehr einen Mehrwert bieten, der die Umstellung auf eine neue Form der Fortbewegung attraktiv und angenehm macht. Dieser Mehrwert kann vor allem über die Integration von Elektromobilität und IKT erreicht werden.

### 6.3 | Chancen

Wegen seiner negativen Nebenwirkungen – Ölverbrauch, CO<sub>2</sub>-Emissionen, Unfälle und geringe Durchschnittsgeschwindigkeiten durch Staus – verliert das konventionelle Auto stetig an Attraktivität und wird auf Dauer kaum die angemessene Antwort auf den immensen unbefriedigten Mobilitätsbedarf der Entwicklungsländer sein können.

Das ist eine enorme Chance für die Durchsetzung der Elektromobilität. Denn sie kann die negativen Nebenwirkungen des Autos beseitigen oder lindern und damit den Fahrzeugnutzen für die Kunden wesentlich steigern. Als umweltschonende Technologie leistet sie einen langfristigen Beitrag zur Lösung der Probleme des konventionellen Autofahrens. Als innovative Technologie verspricht sie gleichzeitig enorme ökonomische Chancen: Sie kann die Kosten individueller Mobilität senken und den Komfort steigern. Elektroautos werden keine normalen Autos sein, die nur elektrisch statt mit Verbrennungsmotor fahren. Die Fahrzeuge bieten vielmehr verschiedene bisher unbekannte Applikationen, die mittels IKT realisiert werden und die das Elektroauto in puncto Sicherheit, Effizienz, Kosten und Kommunikation zu einem attraktiven Gebrauchsgut machen. Das Auto könnte sich vom Sicherheitsrisiko zum Sicherheitsgaranten wandeln: Es würde sich unfallfrei in einem IKT-geführten Mobilitätsnetz bewegen, müsste dazu mit all seinen Anforderungen freilich in einem eigenen Design neu konfiguriert werden.<sup>85</sup>

Es zeichnet sich ab, dass die existierenden Technologien in den Wirtschaftssektoren Automobil, Energieversorgung sowie Informatik, Kommunikation und Elektronik zusammenwachsen und dass sich solche kundenfreundlichen Visionen tatsächlich verwirklichen lassen.<sup>86</sup> Daraus entstehen echte ökonomische Trans-

formationschancen, die zu ergreifen für die deutsche Industrie mit ihrem Wissen, ihrer Erfahrung und ihrem Qualitätsbewusstsein besonders vielversprechend ist. Denn die Herausforderung, diese konvergierenden Technologien zu integrieren, ist außerordentlich komplex. Sie erfordert sehr viele verschiedene Fertigkeiten, die in Deutschland in hohem Maß vorhanden sind, insbesondere Systemkompetenz. IKT kann bei dieser Transformation als Innovationstreiber und Wachstumsbeschleuniger der Elektromobilität auftreten. Gleichzeitig kann die Entwicklung des Elektroautos wie ein Katalysator für IKT wirken. Diese Wechselbeziehung der beteiligten Branchen fruchtbar zu machen, ist eine große Chance für den Standort Deutschland. Die Herausforderung für Autoindustrie und Energiewirtschaft besteht darin, sich durch IKT und Sensorik sowie deren intelligente Vernetzung zu differenzieren und damit einen langfristigen Wettbewerbsvorteil zu sichern.

Auch der Trend hin zu hochintegrierten mechatronischen Systemen ist eine Chance für den Standort Deutschland. Bereits heute zeichnet sich die deutsche Zulieferindustrie durch eine hohe technologische Kompetenz in den für die Elektromobilität relevanten Bereichen Mechatronik und Embedded Systems aus.

Weil Elektrofahrzeuge die Vision einer umwelt- und ressourcenschonenden individuellen und kostengünstigen Mobilität einzulösen versprechen, könnten sie besonders in den umweltbewussten gesellschaftlichen Gruppen Deutschlands und Europas eine hohe Nachfrage hervorrufen. Auch in den Märkten anderer Industrienationen sowie der Schwellen- und Entwicklungsländer – besonders in der Vielzahl an Mega-Citys – ist die potenzielle Nachfrage nach Elektromobilität hoch – das potenzielle Angebot aber auch.

85) Mitchell/Borroni-Bird/Burns (2010), S. 1–7 86) Corwin/Norton (2010), S. 3

## 6.4 | Risiken

Wie bereits in Abschnitt 3.5.2 dargestellt, hat man in vielen Ländern, vor allem in China und den USA, das ökonomische und ökologische Potenzial der Elektromobilität auch erkannt und investiert teilweise massiv in Zukunftsprojekte in diesem Bereich. Deutschland läuft Gefahr, den Anschluss zu verpassen, wenn es diese Entwicklung nicht ernst genug nimmt. „Die deutsche Autoindustrie denkt zu sehr an Elektromobilität versus konventionelle Antriebe, und nicht so sehr an Problemlösungskompetenz“, warnt ein Insider, der für diesen Bericht befragt wurde. Die ersten serienmäßigen Elektroautos stehen schon vor der Tür; meistens handelt es sich allerdings um japanische Fahrzeuge mit französischer Anmutung.

In diesem Zusammenhang bemängeln Experten auch, dass sich die deutsche Automobilindustrie zu einseitig auf das Premiumsegment stützt. „Die deutschen Automobile haben Weltruf, sind aber aufgrund des hohen technischen Anspruchs oft zu teuer“, konstatiert ein Marktkenner. Sie bieten erstklassige, aber kostspielige Performance mit überbordendem Zubehör, etwas, das Kunden oft gar nicht brauchen. Christensen nennt das „Performance Oversupply“<sup>87</sup>, was disruptive Innovationen<sup>88</sup> begünstigt. So riskiere die deutsche Autoindustrie, an der Weltnachfrage vorbei zu produzieren und die Chance zu vergeben, zum Leitanbieter für Elektromobilität zu werden, mahnten einige der Gesprächspartner. Denn für die Entwicklung von Elektrofahrzeugen sei eine radikale Vereinfachung und Ausrichtung auf das Kosten-Nutzen-Verhältnis notwendig. Das in den letzten Jahrzehnten entstandene hochkomplexe Zusammenspiel zwischen OEMs und Automotive-Zulieferern mit den hohen formalen Anforderungen, die an die Zulieferer gestellt werden, könnte sich als Innovationshemmnis erweisen, denn die Elektromobilität erfordere neue Kompetenzen und Komponenten.

Der bisherige Erfolg Deutschlands im Automobilssektor verleitet dazu, bewährte Geschäftsmodelle, Fahrzeugkonzepte und IKT-Architekturen bequemerweise einfach fortzuschreiben. Durch die Selbstzufriedenheit mit dem Erreichten droht der deutschen Autoindustrie, die eine der höchsten Produktivitätsraten Deutschlands hat, jedoch ein Positionsverlust, der die deutsche Gesamtproduktivität und damit den Lebensstandard des Landes empfindlich treffen kann. „Wenn kein staatlicher Zwang ausgeübt wird, so wie einst bei der Einfüh-

rung des Abgaskatalysators“, warnt ein Gesprächspartner, „dann wird die Industrie ihre alten Cash Cows weiter melken und sich nicht rechtzeitig umstellen.“ Die Unterschätzung und sogar Unkenntnis disruptiver Innovationen im Autosektor stellt nicht nur ein Risiko für die Einzelunternehmen, sondern für den Standort Deutschland dar. Es ginge viel verloren, wenn andere schneller wären beim Bewältigen der Aufgabe, nicht nur Elektrofahrzeuge, sondern das Mobility Internet<sup>89</sup> zu entwickeln und zur Marktreife zu bringen.

In dieser Hinsicht ist es sehr riskant, Elektromobilität durch die Brille einer Einzeltechnologie zu betrachten: Man könnte die Chance verkennen, die gerade in der Konvergenz unterschiedlicher Technologien und den auf ihnen aufbauenden Anwendungen liegt.

Auch die Ansicht, Elektromobilität sei kein Automotive- oder IKT-Thema, sondern langfristige Energiepolitik, birgt eine große Gefahr: Wer das glaubt und als Handlungsmaxime nimmt, spricht nicht die Bedürfnisse und Motivationen der Nutzer an, verkennt also den wesentlichen Treiber hinter der Erfolgsgeschichte des Autos. Während man sich in Deutschland auf die Batterie fixiert, treiben andere die IKT-Systemarchitektur voran.

Ein weiteres Risiko für die Elektromobilität ist die negative Bewertung von IKT durch Kunden und Hersteller. Das kann dazu führen, dass der Trend, mehr Software im Fahrzeug einzusetzen, nicht konsequent genug angeführt wird. Manche Skeptiker befürchten, dass sich IKT als der eigentliche Kostentreiber der Elektromobilität erweisen könnte. Darüber hinaus, so ein Einwand, könnte sie sich als Unsicherheitsfaktor erweisen; schon heute seien Computerfehler und Systemabstürze ja die Pannenursache Nummer eins im Auto. Diese Feststellung lässt jedoch die eigentliche Fehlerursache außer Acht: Nicht die IKT als solche ist das Problem, sondern die zu hohe Komplexität heutiger, historisch gewachsener IKT-Architekturen.

Denn gerade die geringere Komplexität von Elektroautos in Verbindung mit modularisierter IKT-Architektur macht es möglich, von Grund auf neue Ansätze zu entwickeln und somit den Auftritt neuer Marktteilnehmer zu erleichtern. Diese könnten das Szenario „Low Cost, High Functionality“ verwirklichen. Für „High Cost, High Functionality“ wäre dann kein Raum mehr.

87) Christensen (1997), S. 211–234 und 244 88) Christensen/Raynor (2003), S. 31–71 89) Mitchell/Borroni-Bird/Burns (2010), S. 4 und 37–51

KAPITEL 7

# Ableitung von Handlungsempfehlungen

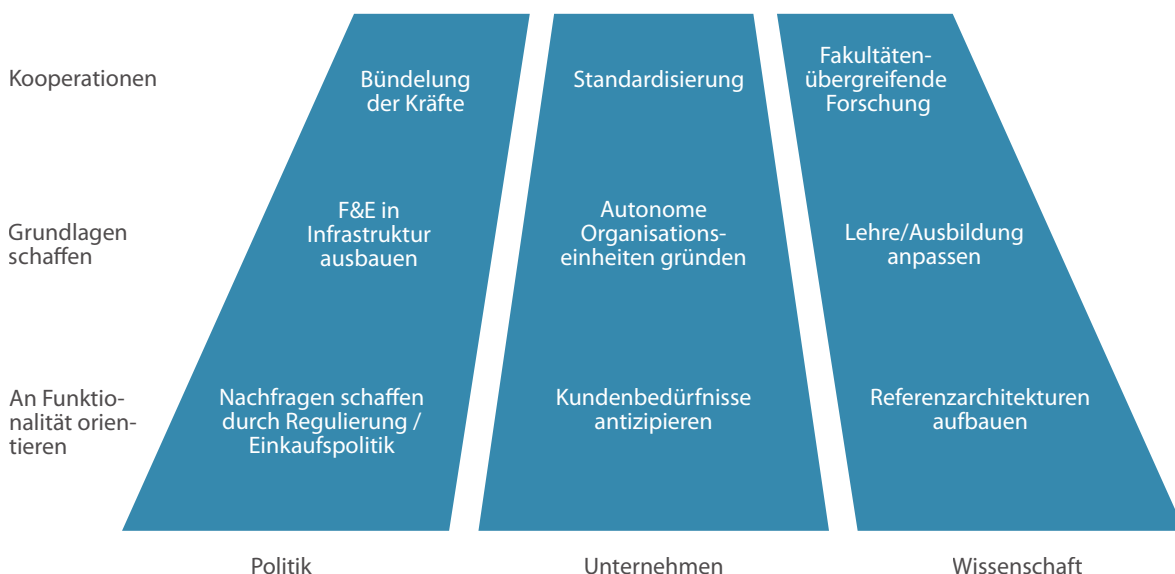
Deutschland soll bis zum Jahr 2020 Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität werden und es auch danach bleiben. Dieses Ziel hängt unmittelbar zusammen mit der Herausforderung, Autoindustrie und Energiewirtschaft durch IKT intelligent zu vernetzen und zu differenzieren – und somit dem Standort Deutschland einen langfristigen Wettbewerbsvorteil zu sichern. All das lässt sich nur mit konzentriertem und konzertiertem Handeln von Politik, Wirtschaft sowie Forschung und Wissenschaft erreichen.

Obwohl es das ordnungspolitische Ziel der Elektromobilitätsprogramme der Bundesregierung sein

sollte, einen sich selbst tragenden, subventionsfreien Markt für Elektromobilität zu schaffen, zwingt die massive Subventionspraxis in anderen Staaten auch die deutsche Politik zu einer vorübergehend aktiveren Rolle.

Laut Porter ist es die **Rolle von Unternehmen**, nicht von Regierungen, wettbewerbsfähige Industrien zu schaffen, und zwar durch ständiges Steigern von Qualität und Effizienz.<sup>90</sup> Wettbewerbsfähigkeit ist demnach das Ergebnis langwieriger Verbesserungsprozesse, von Investitionen in Produkte und Prozesse, von Cluster-Bildung und von einer Durchdringung der Auslandsmärkte.

Abbildung 20: Überblick über wesentliche Handlungsempfehlungen



90) Porter (1990), S. 10 und 174



Die **Rolle von Regierungen** sollte es also nicht sein, Industrien zu schützen oder sie zu subventionieren, sondern sie herauszufordern, damit sie in Bewegung bleiben.<sup>91</sup> Regierungen können zwar die Voraussetzungen beeinflussen, nicht aber erzwingen, dass Unternehmen Wettbewerbsvorteile erlangen.

Die deutsche Volkswirtschaft befindet sich noch in einer Phase, in der sie von Innovationen statt vom bereits erreichten Wohlstand gesteuert wird.<sup>92</sup> Aus diesem Grund und angesichts der massiven Subventionspraxis anderer Länder muss die Bundesregierung ihre Rolle als Treiber und Herausforderer so anpassen, dass sie die Kooperation zwischen den Marktteilnehmern erleichtert, ohne den erforderlichen Wettbewerb zwischen Unternehmen zu behindern.

Die **Rolle von Wissenschaft und Forschung** besteht darin, Verfahren, Konzepte und Technologien bereitzustellen, die die Unternehmen benötigen, um ihre Ziele innerhalb des Rahmens zu erreichen, den die Regierung geschaffen hat, und die Ergebnisse für die industrielle Anwendung aufzubereiten. Die Forschung an

den Universitäten und Forschungsinstituten soll mit der Forschung und Entwicklung in den Unternehmen synchronisiert werden. Eine enge Kooperation zwischen Unternehmen sowie Wissenschaft und Forschung sichert eine anwendungsorientierte Entwicklung von neuen Verfahren, Technologien und Konzepten. Darüber hinaus müssen Wissenschaft und Forschung dafür sorgen, dass die Industrie gut ausgebildete Fachkräfte in ausreichender Zahl zur Verfügung hat.

Aus den Szenarien, den Veränderungen der Wertschöpfungsnetzwerke sowie den Interviews, die für diesen Bericht geführt wurden, lassen sich Handlungsempfehlungen ableiten; *Abbildung 20* gibt einen Überblick darüber.

Um die Empfehlungen umzusetzen, sind möglicherweise Rechtsanpassungen notwendig. Soweit bereits ersichtlich, wurden solche Änderungsnotwendigkeiten in den Handlungsempfehlungen vermerkt. Die Vollständigkeit der Handlungsempfehlungen wurde sichergestellt anhand des Porter'schen Modells<sup>93</sup>, das sich mit der Wettbewerbsfähigkeit von Branchen befasst.

91) Porter (1990), S. 30  
92) Porter (1990), S. 543–573  
93) Porter (1991), S. 156–165

## 7.1 | Empfehlungen an die Politik

Die Politik kann durch Regulierung und öffentliche Einkaufspolitik, durch eine Bündelung aller Aktivitäten, die für die Elektromobilität relevant sind, und den Ausbau der Infrastruktur die Entwicklung hin zu einer zukunftsfähigen IKT-Architektur forcieren.

### 7.1.1 Nachfrage schaffen durch Regulierung / Einkaufspolitik

#### Funktionalitätsbedarf durch kluge Regulierung generieren

Wenn es das politische Ziel ist, Autoindustrie und Energiewirtschaft durch IKT intelligent zu vernetzen, sie dadurch zu differenzieren und infolgedessen dem Standort Deutschland insgesamt einen langfristigen Wettbewerbsvorteil zu sichern, dann sollte die Regierung mit kluger Regulierung dafür sorgen, dass höchster Bedarf an Funktionalität entsteht, der beim Entwickeln neuer Fahrzeuge berücksichtigt werden müsste. Das würde einerseits die Industrie stimulieren, eine Änderung der IKT-Architektur einzuleiten, und andererseits die Eintrittsbarrieren für neue Marktteilnehmer erhöhen. Um all diese Ziele konsequent zu verfolgen, müssten folgende Regulierungsmaßnahmen höchste Priorität erhalten:

- **Drastische Erhöhung der Sicherheitsstandards**

Es wird empfohlen, ambitionierte Ziele hinsichtlich einer Senkung der Unfallzahlen zu setzen, die nur erreichbar sind mit intelligenten Verkehrssystemen, die auf Elektromobilität ausgelegt sind, und mit entsprechenden IKT-Architekturen. Das Ziel ist es, Unfälle zu vermeiden statt ihre Folgen abzumildern. Dazu gilt es, die passiven Sicherheitsmaßnahmen wie Airbag und Knautschzone durch aktive, intelligente Sicherheitssysteme, zum Beispiel Passantenerkennung inklusive Notbremsassistenten, zu ersetzen. Das würde nicht nur den Fahrzeuginsassen, sondern auch und besonders den schwächeren Verkehrsteilnehmern, also Fußgängern und Zweiradfahrern, zugutekommen. Um derart komplexe Funktionen zur Unfallvermeidung inklusive entsprechender Sensorik und Aktorik zu integrieren, müssten die Autohersteller die heutige IKT-Architektur zukunftsweisend überarbeiten, um etwa die

Kommunikation zu anderen Verkehrsteilnehmern (Car-to-X) oder das Erkennen von Gefahrensituationen zu ermöglichen. Branchenkenner sind der Meinung, dass mit Car-to-Car-Kommunikation die Unfallzahlen im Vergleich zu 2009 – in dem Jahr ereigneten sich in Deutschland 280.000 Unfälle – halbiert werden könnten.

- **Politik zur Reduzierung von Staus** Neben geringerer Lebensqualität und erheblichen Schadstoffemissionen verursachen Staus auf den Straßen in der Europäischen Union jährlich Kosten in Höhe von circa 1,0 Prozent des BIP<sup>94</sup>; das entsprach 2008 rund 170 Milliarden Euro. Staureduzierung hat also eine hohe volkswirtschaftliche Relevanz. Statt regulatorischer Maßnahmen zur Reduzierung des Individualverkehrs, etwa das Erheben einer „City-Maut“, bieten sich technische Lösungen an. Zum Beispiel könnte der Individualverkehr mit dem ÖPNV besser integriert werden, indem Telematik-Dienstleister verpflichtet würden, ihre Inhalte in Echtzeit um ÖPNV-Daten, etwa Abfahrtszeiten von Bus und Bahn inklusive Verspätungen und Sonderfahrten, zu ergänzen. Car-to-Car-Kommunikation könnte Fahrern bei einem kooperativen Verkehrsverhalten assistieren, so ließen sich zum Beispiel bei hoher Verkehrsdichte plötzliche Bremsmanöver und daraus resultierende Staus vermeiden.
- **Sehr hohe Datensicherheit- und Datenschutzanforderungen** Wie aus den bisher geschilderten Beispielen hervorgeht, ist es für die Umsetzung neuer Funktionen maßgeblich, dass Daten erhoben und ausgewertet werden. Sicherheit, Authentizität und Integrität der Daten haben dabei höchste Priorität. Die Diskussion um Google Streetview zum Beispiel hat gezeigt, dass frühzeitiges politisches Handeln unverzichtbar ist. Hier gilt es einerseits, die Hersteller zu

<sup>94</sup> Commission of the European Communities (2008), S. 13



verpflichten, von Anfang an wirksame Maßnahmen vorzusehen. Andererseits muss das Datenschutzrecht modernisiert werden, damit die informationelle Selbstbestimmung der Verkehrsteilnehmer gewährleistet ist und potenziellen Kunden das Misstrauen vor einer Überwachung durch intelligente Steuerungssysteme genommen wird. Möglichem Missbrauch von Verhaltens- und Bewegungsprofilen muss konsequent vorgebeugt werden.<sup>95</sup>

Es werden Rechtsanpassungen erforderlich werden, um autonomes, fahrerunabhängiges Fahren, zum Beispiel für Carsharing-Flotten, und automatische Reaktionen zum aktiven Vermeiden von Unfällen zu erlauben. Zum Beispiel müsste das sogenannte „Wiener Weltabkommen“ geändert werden, wonach auf öffentlichen Straßen Fahrzeugführer jederzeit die Hoheit über ihr Fahrzeug haben müssen.

### Öffentliche Einkaufspolitik und Anreize zur Umrüstung von Flotten

Bund, Länder und Gemeinden sollten dafür sorgen, dass Elektroautos wirklich genutzt und damit im Verkehrsraum stärker sichtbar werden. Die Eingriffsmöglichkeiten der öffentlichen Hand beginnen bei der Elektrifizierung behördlicher Flotten, zum Beispiel der mehr als 120.000 kommunalen Liefer- und Servicefahrzeuge. Laut einer bei Siemens durchgeführten Untersuchung ist gegenwärtig mit einem Zuschlag von circa 100 Prozent bei den Anschaffungskosten zu rechnen. Auch Busse und Taxis, die überproportional hohe Lärm- und Schadstoffemissionen in den Städten verursachen, könnten durch öffentliche Förderprogramme schnell auf elektrischen Antrieb und eine zukunftsweisende IKT-Ausstattung umgerüstet werden. Die öffentliche Hand – wie auch die bundeseigene Bahn – sollte mit gutem Beispiel vorangehen, fordert ein Experte, der für diesen Bericht befragt wurde: „Wenn öffentliche

Fahrzeugflotten nicht erfolgreich elektrifiziert werden können, wie sollte das dann Privatleuten gelingen?“

Öffentliche Ausschreibungen für solche Elektroflotten-Fahrzeuge können Einfluss auf die Modellentwicklung nehmen und das Engagement der Industrie steigern. Sie gewähren den Herstellern und Zulieferern eine gewisse Sicherheit, was den künftigen Absatz von Elektrofahrzeugen angeht, und fördern gleichzeitig den Wettbewerb. Das gilt auch für Plug-in-Hybride, also für Kraftfahrzeuge mit Hybridantrieb, deren Batterie über den Verbrennungsmotor und zusätzlich über das Stromnetz extern geladen werden kann.

Um die Vorteile vernetzter Fahrzeuge beim Vermeiden von Unfällen und Staus zu untersuchen, sollte man bei den erwähnten kommunalen Flotten auf die Ideen von Lawrence Burns zurückgreifen<sup>96</sup> und eine kritische Menge von 5.000 bis 10.000 vernetzten Elektroautos<sup>97</sup> in einer Testregion einführen. Die Erkenntnisse aus so einem Testprojekt könnten die Entwicklung von Systemen der zweiten und dritten Generation bis hin zur Kundenzufriedenheit ermöglichen. Gleichzeitig würden Produktionsprozesse und Qualität kontinuierlich verbessert und dadurch die Kosten reduziert. Parallel dazu sollten die Auswirkungen auf Emissionen, Energieverbrauch, Fahrzeiten sowie deren Vorhersagbarkeit, Kosten, Verkehrssicherheit und Kundenzufriedenheit ständig gemessen werden. So ein Projekt, schätzt Burns, würde über circa fünf Jahre weniger als eine Milliarde US-Dollar kosten (circa 760 Millionen Euro nach dem Umrechnungskurs von Ende 2010).

Gleichzeitig mit der Anschaffung der Elektroflotten sollten die erwähnten Telematik- und Verkehrsmanagement-Lösungen aufgebaut werden; um eine ganzheitliche Systemlösung zu schaffen, sollten sie von Beginn an Teil der Ausschreibung sein.

## 7.1.2 Forschung und Entwicklung fördern, Infrastruktur ausbauen

Außerordentlich wichtig und dringend erforderlich sind politische Initiativen, Investitionen und ein gesetzlicher Rahmen, wenn es um den Aufbau der Infrastrukturen geht, die für eine Elektromobilität mit hohem Reifegrad erforderlich sind. Das gilt vor allem für die Energieversorgungs- und IKT-Infrastrukturen, aber auch für die Standardisierung fahrzeugnaher

Komponenten, zum Beispiel Ladestationen. In allen genannten Bereichen ist die Förderung weiterer Forschungsaktivitäten sinnvoll. Dabei spielt IKT als systemübergreifender Treiber für die Wechselwirkung zwischen Smart Car, Smart Grid und Smart Traffic eine entscheidende Rolle.

95) Adis et al. (2009), S. 15 und 76–82  
96) Mitchell/Borroni-Bird/Burns (2010)  
97) Corwin/Norton (2010), S. 8

### Lade-Infrastruktur

Die meisten Besitzer und Nutzer werden ihre Elektrofahrzeuge am liebsten zu Hause oder am Arbeitsplatz aufladen wollen. Einfache häusliche Ladesteckdosen würden privat finanziert, Arbeitgeber sollten öffentliche Fördermittel erhalten, um Ladestationen für ihre Mitarbeiter auf firmeneigenen Parkplätzen aufzubauen. Auch in Einkaufszentren und Parkhäusern könnten Lademöglichkeiten angeboten werden. Der Aufbau einer öffentlichen Infrastruktur wäre demnach nur in begrenztem Maß notwendig.

Um Fahrer, Fahrzeuge, Ladestationen und Energieversorger kommunikationstechnisch miteinander zu verknüpfen, bedarf es intelligenter Navigations- und Abrechnungssysteme, die zum Beispiel das schnelle Auffinden von Ladepunkten und die ortsunabhängige Abrechnung von Ladevorgängen über intelligente Stromzähler („Smart Meter“) ermöglichen. Für den Aufbau der erforderlichen IKT-Infrastruktur wird die Förderung weiterer Forschungsaktivitäten empfohlen.

### Energie-Infrastruktur: Netze unter „Internet der Energie“

Der Trend zur dezentralen Energieerzeugung, zum Beispiel erneuerbarer Energien, macht eine Modernisierung der Energienetze notwendig: Es müssen IKT-Systeme zur Koordination von Teilnetzen eingesetzt und Speicherkapazitäten geschaffen werden, um Energieschwankungen auszugleichen. Als solche Speichermedien können die mit dem Energie-

netz verbundenen Batterien von Elektrofahrzeugen fungieren: Schaltet man mithilfe geeigneter IKT-Lösungen sehr viele Fahrzeugbatterien zusammen, können sie in Zeiten geringen Verbrauchs (Lastsenke) als virtueller Speicher dienen und bei Lastspitzen Energie ins Netz zurückspeisen. An diesem Beispiel wird deutlich, dass IKT ein unverzichtbares Bindeglied ist und zusätzliche Möglichkeiten zur Batteriefinanzierung schafft; zum Beispiel könnte überschüssiger Strom an einer Strombörse gehandelt werden. Für dieses Szenario ist ein hohes Maß an Eigenintelligenz im Fahrzeug sowie in der Kommunikations- und Versorgungsinfrastruktur erforderlich. Da in diesem Bereich noch viele Forschungsfragen offen sind, ist weiterhin eine intensive Förderung von Forschungsaktivitäten notwendig.

### Kommunikationsinfrastruktur

Die Analyse der Technologietrends hat deutlich gemacht, dass es bei der Kommunikationsinfrastruktur doppelten Handlungsbedarf gibt: Zum einen gilt es, das Breitbandnetz auszubauen, zum anderen müssen Frequenzen zur Verfügung gestellt werden, die eine zuverlässige schmalbandige Kommunikation im Nahbereich ermöglichen, zum Beispiel für die Car-to-Car-Kommunikation. Sowohl für die Breitband- als auch für die Nahbereichskommunikation sollten zusätzliche Frequenzen verfügbar gemacht, dazu die Funkstandards und -frequenzen europa- und weltweit harmonisiert werden.

## 7.1.3 Bündelung der Kräfte

Nur eine Bündelung aller Kräfte in der Politik, aber auch in den Unternehmen, kann das wahre Potenzial Deutschlands in Bezug auf die bevorstehenden Entwicklungen wirksam werden lassen. Darum gilt es, zum Beispiel Kooperationen und die Teilnahme von Firmen an Standardisierungsprozessen zu fördern.

### Innovative Organisationen: Schaffung eines Sonderbereichs Elektromobilität

Die meisten Interviewpartner empfehlen, auf Bundesebene einen organisatorischen Sonderbereich „Elektromobilität“ einzurichten, der im Verlauf der nächsten Dekade sämtliche einschlägigen Initiativen koordiniert und steuert. Das würde den Denk- und Planungshorizont über die jeweils laufende Legislaturperiode hinaus erweitern und zu einem stärker

zielgerichteten Einsatz von Fördergeldern sowie zu besserer strategischer Planung führen. Zudem wäre die große Linie für Projektvergaben und regulierende Maßnahmen für alle Beteiligten klarer zu erkennen und besser umzusetzen.

Speziell sollte so ein exekutiver Sonderbereich dafür sorgen, dass die Rolle der IKT deutlicher wahrgenommen wird; ferner sollte er darauf hinwirken, dass eine spezielle Arbeitsgruppe „IKT für Elektroautos“ im Rahmen der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) geschaffen wird. Schrittweise sollte er dann die spartenmäßige Organisation der NPE überwinden und helfen, die Dominanz der Einzel-Interessenvertretung seitens der Verbände zurückzufahren. Und schließlich wäre es die Aufgabe des neu zu

schaffenden Bereichs, alle bisher vereinzelt wirkenden Arbeitskreise und Plattformen in Deutschland zu konsolidieren.

Die Bundesregierung könnte mittels dieses Sonderbereichs auch Wissensaustausch und Wissensmanagement zwischen den bereits existierenden Modellregionen und Modellprojekten fördern. Sie sollte sich als Signal- und Ideengeberin verstehen und interessierte Institute sowie Unternehmen ermutigen, verstärkt multidisziplinäre Methoden einzusetzen, also über ihren jeweiligen Stammbereich hinauszuwirken.

### **Innovative Prozesse: Schaffung einer übergreifenden Lernarchitektur**

Die Entwicklung und zügige Einführung einer zukunftsfähigen IKT-Architektur in Fahrzeugen sowie, darüber hinausgehend, für die Einbindung von Fahrzeugen in die Verkehrs-, Energie- und Kommunikationsinfrastruktur ist eine Überlebensfrage für den Wirtschaftsstandort Deutschland und erfordert neue Formen der Zusammenarbeit.

Zur erfolgreichen Weiterentwicklung und Nutzung von IKT als Treiber und zunehmend als prägende Komponente der Elektromobilität ist es erforderlich, dass die Unternehmen aus den beteiligten Industrien mehr gegenseitiges technisches und unternehmerisches Verständnis aufbauen, dadurch Misstrauen abbauen und Konsens fördern.

Das effektive Management von Wissen hat sich zum Schlüsselfaktor für Wettbewerbsfähigkeit entwickelt. Es setzt Architekturen voraus, die Zusammenarbeit und Austausch fördern, indem sie die Einbindung aller Beteiligten („Stakeholder“) in den Prozess der Erzeugung und Verbreitung von Wissen erlauben. Was infolgedessen stattfinden kann, ist das Konstatieren von Tatsachen auf gemeinsamer Grundlage („Joint Fact Finding“), wodurch strategisch wichtige Information rechtzeitig zur Verfügung stehen und Konflikte minimiert werden.

Es ist eine bedeutende Herausforderung, eine übergreifende Lernarchitektur zu schaffen, beispielsweise in Form einer Dialogplattform für Entscheider, die im komplexen Universum der Elektromobilitäts-Stakeholder strategische und organisatorische Fähigkeiten systematisch aufbaut, etwa Geschwindigkeit, Verantwortung, Reaktionsfähigkeit, Innovation und Kreativität. Nur so kann ein strategisch kompetentes und dadurch überlebensfähiges System entstehen.

### **Kooperation und Wettbewerb**

Im Bereich Elektromobilität ist es eine wesentliche Rolle der Politik, das Zusammenspiel zwischen den wichtigsten heimischen Akteuren und Branchen zu erleichtern – also zwischen den Automobilherstellern, der Energiewirtschaft und den IKT-Unternehmen – und dafür das richtige Maß zu finden. Denn die Politik sollte nicht in den Wettbewerb eingreifen, sondern ein Umfeld schaffen, das Kooperationen zwischen Unternehmen fördert. Wichtig ist auch die Förderung von Unternehmensgründungen, darunter Ausgründungen (Spin-offs) und Joint Ventures von Auto-, Energie- und IKT-Unternehmen.

Die Politik darf dabei jedenfalls nicht nur Großunternehmen im Blick haben. Gezielt sollte sie ihr Augenmerk auch auf innovative kleine und mittlere Unternehmen (KMU) richten beziehungsweise die Gründung neuer spezialisierter KMU fördern, deren Risikobereitschaft stärken, sich mit ihren Ideen beschäftigen, ihre Innovationen belohnen und ihre Fähigkeit stärken, ihre Patente in eventuellen Auseinandersetzungen zu verteidigen.

„Sie (die Politik; Anmerkung der Redaktion) darf neue Ideen nicht nur von den Großen übernehmen – sie sollte die klassischen Marktteilnehmer in den Wettbewerb mit den Kleinen zwingen oder diese durch Know-how und Ressourcen unterstützen.“ Dieser Wunsch eines Stakeholders bezieht sich auch auf die Ausgestaltung der NPE, wo die Politik dafür sorgen sollte, dass „die Kleinen“ adäquat einbezogen werden.

Unermüdlich sollte die Politik die Industrie mit dem Bedarf nach neuen Technologien konfrontieren, zum Beispiel Plug-in-Hybriden (siehe Abschnitt 7.1.1.2), die bisher unterschätzt wurden, und vernetzten IKT-Lösungen. Die Politik könnte Wettbewerbe ausschreiben, Preise verleihen und das Erreichen langfristiger Ziele belohnen, zum Beispiel Reduzierung von Unfällen. Wettbewerbe haben den positiven Zusatzeffekt, dass sie die Kooperation zwischen Großunternehmen, KMUs und wissenschaftlichen Institutionen und damit die Bildung besonders produktiver Cluster fördern. Nicht nur der Bund, sondern auch die Länder, besonders diejenigen mit starken Clustern, sollten als Antreiber und Herausforderer auftreten.

### **Regionale Wirtschaftspolitik und Cluster-Förderung**

Wenn Elektromobilität zuverlässig funktionieren soll, sind die Anbieter auf hervorragende Zulieferbetriebe für eine große Vielfalt an Schlüsselkomponenten an-

gewiesen, und zwar für hochintegrierte Systeme, also Batterien samt Leistungselektronik (Stromrichter) sowie mechatronische Aktoren und Antriebssysteme; für Ladekomponenten, für intelligente Energie-Verteilssysteme; für Software und Sensorik und schließlich für Halbleiter- und Funktechnologien. All diese Betriebe und Branchen zu fördern und für Synergien mit den Hauptakteuren der Elektromobilität zu sorgen ist Aufgabe der Politik. Das betrifft speziell die regionale Wirtschaftsförderung und Industriepolitik, wenn es darum geht, die Bildung von besonders produktiven Clustern zu unterstützen.

Solche Cluster erhöhen die Kompetenz und verbreitern den Aktionsradius ihrer Mitglieder, also einzelner Unternehmen. Gefördert werden sollten regionale Pilotprojekte mit systemübergreifender Telematik, in denen das Zusammenspiel zwischen Elektrofahrzeugen, Verkehrsintelligenz und Energieversorgungsintelligenz getestet wird. Ein Vorbild dafür findet sich in Singapur, wo IBM ein Leitsystem unterhält, das in Echtzeit die Verkehrsströme erfasst, bewertet und lenkt.

Die Unternehmensberatung A. T. Kearney geht für 2025 davon aus, dass 25 Prozent der Wertschöpfung im Fahrzeug über Software, 40 Prozent über Elektrik und Elektronik sowie 35 Prozent über Mechanik realisiert werden wird.<sup>98</sup> Mit der wirtschaftlichen Bedeutung der IKT im Fahrzeug sollten auch Investitionen in die entsprechende Forschung und Entwicklung zunehmen, um dieses Wertschöpfungspotenzial heben zu können. Der Anteil dieser Investitionen am Gesamtaufkommen sollte mindestens so hoch sein wie der der entsprechenden Wertschöpfung.

### Standardisierung

Auseinandersetzungen zwischen den Verfechtern konkurrierender Standards hemmen Innovation; der Konflikt Blue Ray versus HD-DVD ist ein Beispiel dafür. Darum ist es wichtig und erfolgskritisch, zügig verbindliche Standards für die Elektromobilität zu definieren, denn die vermeiden Unsicherheiten, Fehlinvestitionen in Forschung und Entwicklung und Zeitverluste. Darum betonen Fachleute in Gesprächen für diesen Bericht immer wieder mit Nachdruck: „Wir müssen internationale Standards schaffen“ und führen als Beispiel an:

„Kommunikation hat etwas mit Standards zu tun, die EU-weit geschaffen werden müssen: GSM als erster europäischer Mobilfunkstandard ist ein gutes Beispiel; dieser wurde dann auch von anderen Ländern als Standard übernommen.“

Deutschlandweit, möglichst europaweit, sollte darum eine „Roadmap zur IKT-Normung in der Elektromobilität“ verabschiedet werden, mit klaren Richtlinien für Politik, Unternehmen und Forschung. Die Politik soll von der Industrie verlangen, sich frühzeitig auf Standards zu einigen. Bei der Implementierung dieser Standards ist es wichtig, das Entstehen von Monopolen zu verhindern. Darüber hinaus wird empfohlen, dass die Bundesregierung eine Koordinierungsstelle „Standardisierung für Elektromobilität“ etabliert, die deutsche Standardisierungsinteressen international vertritt und Unternehmen berät. Um zu vermeiden, dass sich die Akteure in einem Wald von Normen verzetteln, müssen die verschiedenen Standardisierungsaktivitäten zusammengeführt und untereinander abgestimmt werden; das betrifft die Mineralölindustrie, den Energiesektor, die Elektromobilität, das „Internet der Dinge“<sup>99</sup> etc.

Im Bereich der IKT gilt es, unter anderem die Kommunikationstechniken samt Protokollen und Programmierschnittstellen zu vereinheitlichen, und zwar sowohl für die Kommunikation innerhalb von Fahrzeugen und für zuverlässige Nahbereichsverbindungen zwischen Fahrzeugen (Car-to-X) als auch zum Laden. Auch hier sollte die Politik einheitliche EU-Standards anstreben und koordinierend eingreifen, wo es um hoheitliche Aufgaben wie Frequenzvergabe geht. Besonders wichtig ist es, internationale Standards für eine gemeinsame Kommunikationsinfrastruktur voranzutreiben, denn ein einheitliches Kommunikationsnetz („Mobility Internet“), das Sicherheits- und Verkehrsanwendungen sowie kommerzielle Dienste ermöglicht, ist unverzichtbar für die Einführung kooperativer Systeme.

Darüber hinaus sollte die Teilnahme von Firmen an Standardisierungsgremien gefördert werden, denn in zentralen Bereichen, zum Beispiel bei der Softwarearchitektur, dürften industriegetriebene De-facto-Standards entstehen. In Technologiebereichen, wo vor allem kleinere und mittlere Unternehmen aktiv sind, sollten statt direkter Förderung Verbände unterstützt werden, damit sie stellvertretend Standardisierungsaufgaben übernehmen können. Ein Beispiel für einen solchen Bereich ist die Sensorik. Für KMU sind hier die Normen und deren Veränderungen nur schwer zu überschauen, weshalb eine Instanz wie der AMA Fachverband für Sensorik den Auftrag erhalten und dabei unterstützt werden sollte, stets einen aktuellen und konsistenten Überblick zu gewährleisten.

98) Roemer/Kramer (2010)

99) [http://www.itu.int/osg/spu/publications/internetofthings/InternetofThings\\_summary.pdf](http://www.itu.int/osg/spu/publications/internetofthings/InternetofThings_summary.pdf)



## 7.1.4 Sonstige Handlungsempfehlungen

Auch Kaufanreize für Kunden sowie Aufklärung und Information können den Wandel zur Elektromobilität vorantreiben.

### Anreize für Kunden

Laut einer Studie von PricewaterhouseCoopers und des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) können sich 81 Prozent der potenziellen Nutzer gegenwärtig nicht vorstellen, in absehbarer Zeit ein Elektrofahrzeug zu kaufen.<sup>100</sup>

Prinzipiell ist es einfach, den Kunden in einer konzentrierten Aktion von Politik und Wirtschaft finanzielle Anreize zu geben, indem die summierten Abschreibungs- und Betriebskosten (Total Cost of Ownership, TCO) von Elektroautos gesenkt und die konventioneller Autos erhöht werden. Den stärksten Anreiz dieser Art bilden Kaufzuschüsse für Endkunden. Einige Staaten Europas, etwa Großbritannien und Frankreich, haben Geldprämien für die Käufer von Elektroautos ausgelobt. Deutsche Experten sind sich uneins, ob solche Zuschüsse momentan volkswirtschaftlich wünschenswert sind. Die einen sagen: „Zahlt die Prämie jetzt, um Druck auf die deutschen Automobilhersteller auszuüben!“ Die andere Position lautet: „Zahlt die Prämie frühestens 2013, derzeit würden davon doch nur die Japaner profitieren!“

Eine Senkung der TCO für Elektroautos mit neuer IKT-Architektur könnte unter anderem durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

- Schaffung von IKT-Systemen für bequeme und leicht zugängliche Auflademöglichkeiten im öffentlichen Raum: Bezahlung über Parkticket, Geldkarte oder Kreditkarte; Energieversorger rechnen mit Betreibern der Ladestationen ab
- Rabatte auf Beiträge zu Versicherungen und Krankenkassen, wenn zukünftige Funktionen genutzt werden, die der Unfall- und Stauvermeidung dienen
- Höhere Zuschüsse beim Kauf eines Elektrofahrzeugs mit neuer IKT-Architektur
- Sonderrechte für Elektroauto-Nutzer, zum Beispiel kostenlose Parkplätze oder, in der Startphase, die Erlaubnis zum Fahren auf Busspuren
- Steuerliche Anreize, zum Beispiel die Befreiung von der Umsatzsteuer oder eine verkürzte Abschreibungsdauer für Elektroautos

- Besteuerung aller Fahrzeuge nach CO<sub>2</sub>-Ausstoß, wobei die Primärenergie-Quelle mit eingerechnet wird („Well to Wheel“)

Parallel zu diesen Anreizen für Elektrofahrzeuge könnten die TCO konventioneller Autos erhöht werden, zum Beispiel durch folgende Maßnahmen:

- Umweltzonen mit Fahrverboten für herkömmliche Autos
- Einführung einer City-Maut nach dem Beispiel der „Congestion Charge“ in London
- Einschränkung der Abschreibungsmöglichkeiten für konventionelle Firmen- und Leihwagen

### Aufklärung und Information

Wenn IKT-unterstützte Elektroautos neuen Mehrwert – etwa in puncto Sicherheit, Kommunikation, Effizienz und Selbststeuerung – und neue Applikationen bieten können, über die konventionelle Autos nicht verfügen, dann werden die Verbraucher das mit steigender Nachfrage honorieren. Dafür bedarf es motivierender Kampagnen, die nicht nur an die Vernunft, sondern auch an Emotionen appellieren. Zum Beispiel könnten die potenziellen Verbraucher stärker und mit mehr Interaktion als bisher einbezogen werden in Feld- und Flottenversuche mit Elektroautos. Diese Versuche müssten freilich alle Aspekte der Elektromobilität berücksichtigen, also Energie, Verkehr, Technik, soziale Auswirkungen, Steuereffekte etc. Es wäre durchaus denkbar, die Bevölkerung einer ganzen Stadt ein elektromobiles Gesamtkonzept im Alltag testen zu lassen; zu dem Zweck müssten vorübergehend Elektrofahrzeuge in ausreichender Zahl kostenlos zur Verfügung gestellt werden. Versuche dieser Art gab es bereits in Shanghai und Peking, wenn auch nicht in dem vorgeschlagenen Umfang und für eine komplette Stadt.

100) Arnold et al. (2010), S. 11



## 7.2 | Empfehlungen an die Unternehmen

Laut Porter<sup>101</sup> müssen Unternehmen ständig ihre Wettbewerbsfähigkeit steigern, und zwar durch kontinuierliche Verbesserung, Innovation und Veränderung. Wettbewerbsfähigkeit setzt freilich oft schmerzhaft Veränderungen voraus, mitunter sogar „kreative Zerstörung“<sup>102</sup>. Automobilunternehmen stehen vielfältigen Herausforderungen gegenüber: Sie müssen sich auf einen Wandel der Kundenbedürfnisse einrichten, dabei besonders Neukunden in aufstrebenden Wirtschaftsregionen berücksichtigen. Sie haben sich mit einer großen Vielfalt an Clustern, Lieferanten,

Kunden und anderen Unternehmen auseinanderzusetzen – nicht zuletzt, um neue Standards und eine Verkehrsinfrastruktur zu schaffen, wie sie für Smart Cars erforderlich ist.

Die Systemgrenzen werden dabei fließend. Das Auto kann nicht mehr als Einzelsystem betrachtet werden; es müssen bei der Entwicklung und beim Betrieb des Fahrzeugs auch die Wechselwirkungen mit der Umgebung, unter anderem Smart Traffic und Smart Grid, berücksichtigt werden.

### 7.2.1 Sich ändernde Kundenbedürfnisse antizipieren

Letztlich muss klar sein, dass Elektroautos nur dann Markterfolg haben werden, wenn das Preis-Leistungs-Verhältnis günstiger als bei konventionellen Fahrzeugen ist. Ausschließlich auf das umweltfreundliche Image von Elektrofahrzeugen zu setzen, wird nicht zum Erfolg führen. Zur Abschätzung dieses Nutzens ist laut Burns ein tiefes Verständnis der Kundenbedürfnisse notwendig<sup>103</sup> und Automobilunternehmen sollten sich hierzu auf folgende Kundengruppen konzentrieren:

- Kunden, die noch keine Fahrzeugbesitzer sind
- Kunden, die unterversorgt sind, die also mit der Funktionalität und Zuverlässigkeit konventioneller Fahrzeuge nicht zufrieden sind
- Kunden, die überversorgt sind, für die herkömmliche Fahrzeuge bereits mehr bieten als benötigt

Eine überarbeitete IKT-Architektur kann helfen, diese drei Kundengruppen zu adressieren. Kunden, die noch keine Fahrzeugbesitzer sind, sowie überversorgte Kunden wollen vor allem Mobilität zu einem geringen Preis, wie er durch eine stark vereinfachte IKT-Architektur erreicht werden kann. Unterversorgte Kunden wollen Funktionalität, etwa autonomes Fahren, die weit über das mit der derzeitigen IKT-Architektur Machbare hinausgeht.

Bei der Elektromobilität handelt es sich um eine disruptive Innovation<sup>104</sup>, die laut Christensen einen explorativen Ansatz erfordert, in dem zunächst Nischen besetzt werden. Die Kenntnis zukünftiger Nutzerinte-

ressen hilft beim Auffinden solcher Nischen für Elektroautos, etwa:

- Sportwagen mit extrem hoher Beschleunigung
- Fahrzeuge für die Ausstattung spezieller Flotten (Car-to-go, Carsharing, Taxis oder kommunale Fahrzeuge)
- Zweit- und Drittwagen
- Fahrzeuge für Kurzstreckenpendler
- City-Autos in zwei unterschiedlichen Ausprägungen: a) klein, fein und teuer für Metropolen wie London, Tokio, Berlin etc. ; b) klein, preiswert und einfach, aber sicher zu bedienen
- für Mega-Citys in Schwellenländern
- für ältere Menschen in entwickelten Ländern
- für junge Menschen in entwickelten Ländern, denen konventionelle Autos zu teuer sind

Explorativ vorzugehen heißt außerdem:

- nicht zu warten, bis es zu einem Durchbruch in der Batterietechnologie kommt, der Elektroautos schlagartig für die automobilen Hauptmärkte interessant macht.
- keine Konversionsfahrzeuge, also konventionelle Autos mit Elektroantrieb, anzubieten.
- nicht die Niedrigpreissegmente zu vernachlässigen, die großes Potenzial für Innovationen bieten.
- nicht die Bedeutung von Plug-in-Hybriden und Range-Extendern zu unterschätzen. Denn diese ermöglichen nach Einschätzung des ADAC einen Einstieg in die Elektromobilität ohne Einschrän-

101) Porter (1980/1985/1986/1990)

102) Schumpeter (1942)

103) Corwin/Norton (2010), S. 6

104) Christensen (2003), S. 31–71

kungen, weil sie nur relativ kleine Batterien erforderlich machen, die relativ wenig kosten und geringere Probleme mit der Lade-Infrastruktur aufwerfen.

- nicht nur das Fahrzeug an sich, sondern auch innovative Geschäftsmodelle zu berücksichtigen.

Die deutsche Industrie ist besonders stark in kostenintensiven Marktsegmenten, zum Beispiel bei Sportwagen. Nach Ansicht vieler Fachleute ist jedoch das Billigsegment besser geeignet, um erste Erfahrungen mit Elektromobilität zu sammeln: „Das Beispiel China zeigt, wie man es machen sollte: Mit Elektrorollern sammelt man erste Erfahrungen, die man dann im nächsten Schritt nutzen kann, um kostengünstige Elektroautos aufzubauen. Kunden in diesem Segment akzeptieren auch eher Unzulänglichkeiten“, konstatiert ein Markt-Insider. Für die Hersteller von Premiumfahrzeugen haben die Marktkenner die Empfeh-

lung, kostengünstige Fahrzeuge zunächst durch eigenständige Unternehmen zu entwickeln und zu vertreiben, um das angestammte Marken-Image nicht zu belasten. Die Erfahrung in anderen Bereichen hat gezeigt, dass durch IKT und insbesondere deren Modularisierung und Standardisierung Kosten in erheblichem Maß eingespart werden können.

Elektrofahrzeuge in Kombination mit einer neuen IKT-Architektur weisen nicht nur ein größeres Potenzial für Kosteneinsparungen auf als Verbrennungsfahrzeuge. Es ist auch zu erwarten, dass sie völlig neue Funktionen und die Möglichkeit zum Auf- und Umrüsten durch offene Schnittstellen (Plug-and-Play) bieten werden. Preiswerte Einstiegsmodelle können mit neuer Hard- und Software aufgewertet werden, und die Käufer haben die Möglichkeit, ähnlich wie im Smartphone- und IT-Bereich, schnell von neuen Entwicklungen zu profitieren.

## 7.2.2 Autonome Organisationseinheit gründen

Laut Christensen können Unternehmen erfolgreich sein, wenn sie die notwendigen Ressourcen besitzen, wenn ihre Geschäftsprozesse das Ergreifen und Umsetzen von günstigen Gelegenheiten erleichtern und wenn ihre Unternehmenswerte es ihnen erlauben, einer bestimmten Gelegenheit Priorität gegenüber anderen Gelegenheiten einzuräumen, die um die Ressourcen des Unternehmens konkurrieren („Resources – Processes – Value Theory“).<sup>105</sup>

Die Fähigkeiten etablierter Unternehmen bestehen hauptsächlich in ihren Prozessen und Werten; sie manifestieren sich in ihrer Unternehmenskultur. Deswegen ist Wandel im Allgemeinen so schwierig, im Falle disruptiver Innovationen Christensen zufolge sogar unmöglich: „... organisations cannot disrupt themselves“.<sup>106</sup> Denn disruptive Innovationen zielen auf Märkte, die es noch nicht gibt und für die demzufolge noch keine Prozesse existieren. Vor allem aber widersprechen sie den Wertesystemen etablierter Unternehmen, welche die Disruptionen der eigenen Geschäftsmodelle als Bedrohungen wahrnehmen. Disruptive Innovation verwandelt also die Stärke eines Unternehmens in Schwäche.

Die angemessene Antwort auf die aktuelle disruptive Herausforderung in der automobilen Wertschöpfungsstruktur ist es, eine eigenständige Organisation aufzubauen, deren Ressourcen, Prozesse und Werte vollständig auf Elektromobilität gerichtet sind und deren

Kostenstruktur rentable Geschäfte ermöglicht. In einer solchen Organisation könnten sich laut Christensen<sup>107</sup> die besten Mitarbeiter auf Elektroautos konzentrieren, anstatt ständig von der Arbeit an herkömmlicher, aber am Markt akzeptierter Technologie abgelenkt zu werden.

Mit Spin-offs, also mit eigens gegründeten Tochtergesellschaften für Elektromobilität, rät Christensen<sup>108</sup> dringend, sollten Unternehmen zwar klein anfangen, aber sie sollten keinesfalls zögern.

Denkbar wäre zu diesem Zweck auch die Gründung von Joint Ventures aus Auto-, Zuliefer-, Energie- und IKT-Unternehmen. Solche Neu- oder Ausgründungen sind zwingend notwendig; das wird deutlich, wenn man sich vergegenwärtigt, dass viele Vorteile der Elektromobilität sich nur mit einer deutlich veränderten IKT-Architektur realisieren lassen. Eine Neuausrichtung der Architektur wäre in existierenden Unternehmen nur sehr schwer möglich, denn Conways Gesetz zufolge sind IKT-Architekturen Abbilder der Organisation, die sie erstellen.<sup>109</sup> Spin-offs dagegen könnten zusätzlich von der Expertise ihrer Mutterunternehmen profitieren, besonders hinsichtlich Logistik und Produktion, und damit einen wichtigen Vorteil gegenüber neuen Marktteilnehmern behaupten. Ein wichtiges Kriterium für den Erfolg einer solchen Ausgründung ist es jedoch, dass sie in der Lage ist, einen Markt

105) Christensen (2003), S. 177–211

106) Christensen (2003), S. 193

107) Christensen (1997), S. 250

108) Christensen (2003), S. 235–265

109) Conway, M. E. (April 1968), „How Do Committees Invent?“, *Datamation* 14 (5), S. 28–31

beziehungsweise ein Kundensegment zu adressieren, in dem das Mutterunternehmen nicht aktiv ist. Erfolgsbeispiele sind die Telekom-Ausgründung Congstar sowie die Joint Ventures von Daimler und BYD beziehungsweise Volkswagen und Skoda.

Zu den wesentlichen strategischen Entscheidungen gehören Konfiguration und Koordination der Wertschöpfungskette. Im Markt der Elektromobilität ist es generell ratsam, dass sich beteiligte Unternehmen in der Wertschöpfungskette dort positionieren, wo die Leistung noch nicht gut genug ist. Denn dort lassen sich mit der höchsten Erfolgswahrscheinlichkeit differenzierte Produkte, skalenbasierte Kostenvorteile und hohe Eintrittsbarrieren erzeugen. Christensen hat das mit seiner „Value Chain Evolution Theory“<sup>110</sup> aufgezeigt und rät den Unternehmen: „... skate to where the money will be“.

### Businesspläne als „Lernpläne“ auffassen

In neu entstehenden Märkten befinden sich die Unternehmen in relativ unsicheren Situationen. Auch aus diesem Grund ist es notwendig, neue Organisationen zu gründen. Während große Firmen im Wesentlichen Prozesse verbessern und beschleunigen können, sind ihre Organisationsstrukturen nicht flexibel genug, um disruptive Veränderungen umzusetzen. Neue, kleine Organisationen können dagegen eine „emergent strategy“ durchführen, die es erlaubt, sich schnell auf plötzlich auftauchende Chancen oder Risiken einzustellen. So eine Strategie ist das Ergebnis eines offenen

und flexiblen Strategieprozesses.<sup>111</sup> Businesspläne werden auf diese Weise zu „Lehrplänen“, die es erlauben, nicht alles auf eine Karte zu setzen und sich Flexibilität zu bewahren.

### Lernen als strategischen Schlüsselprozess etablieren

Lernen ist insbesondere in Bezug auf disruptive Entwicklungen der Schlüssel zur erfolgreichen Entwicklung eines Unternehmens: Es ermöglicht ihm, sich variabel und auf der Grundlage kompetenter strategischer Entscheidungen auf seine Marktumgebung einzustellen und sein Überleben zu sichern. Eine wichtige Rolle im Zusammenhang mit dieser Entwicklung spielt der Erwerb von Qualitäten wie Geschwindigkeit, Verantwortung, Reaktions- und Innovationsfähigkeit und Kreativität.<sup>112</sup> Das Wissensmanagement wird zu einem wichtigen Erfolgsfaktor.<sup>113</sup>

Unternehmen sollten dabei nicht nur die eigene Organisation einbeziehen, sondern auch externe Partner und Kunden, dazu die gesamten Cluster, denen die Unternehmen angehören, sowie alle Stakeholder. In seiner höchsten Stufe ist Lernen ein in die Geschäftsprozesse integrierter Treiber gemeinsamer strategischer Initiativen und ein Motor des Wandels der gesamten Industrie. Ein solches Lernen wird für die Unternehmen der Automobil-, Energie- und IKT-Industrie unbedingt notwendig sein, um sich erfolgreich auf die kommende Ära der Elektromobilität einzustellen.

## 7.2.3 Standardisierungsprozesse aktiv begleiten

Die Teilnahme von Unternehmen an der Standardisierung wird ohne Zweifel immer wichtiger für ihren Markterfolg; die Rolle europäischer Unternehmen gerade im IKT-Bereich unterliegt dabei kritischer Aufmerksamkeit von Experten: „Europäische Firmen haben sich in den letzten Jahren immer mehr aus Standardisierungsgremien zurückgezogen. Diese Rolle haben die Amerikaner und insbesondere die Asiaten übernommen. Wenn wir nicht aufpassen, werden wir in den nächsten Jahren von Standards aus Asien überrollt“, warnt ein Gesprächspartner für diesen Bericht. Deutsche Firmen sollten sich daher wieder stärker an Standardisierungsprozessen beteiligen und dadurch sicherstellen, dass sie frühzeitig standardkonforme Produkte anbieten können. Die folgenden Zitate machen deutlich, an welchen Stellen Experten Handlungsbedarf sehen:

„Ohne Standards wird es eine Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur nicht geben, damit hätte man keinen globalen Einfluss, sondern verlöre sich in Partikularinteressen.“

„Für Standards ist die Einigung auf Basistechnologien notwendig. Hier gibt es noch zu viele unterschiedliche Ansätze zwischen Automobilherstellern, Zulieferbetrieben, Tele-Kommunikations- und Energieversorgungsunternehmen, sowohl deutschland- als auch europaweit.“

„Alle im Automobilbau üblichen Spezifikationen müssen grundlegend hinterfragt werden. Dies gilt für die gesamte Wertschöpfungskette bis in die Werkstätten hinein.“

110) Christensen (2003), S. 125-175

111) Christensen (2003), S. 213-234

112) Deiser (2009), S. 1-5

113) Deiser (2009), S. 9-20

## 7.3 | Empfehlungen an Bildung, Forschung und Wissenschaft

Organisationen in den Bereichen 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. Politik und Wirtschaft müssen die Wissenschaft dabei unterstützen und För-

dergelder in ausreichender Höhe bereitstellen. Laut dem Handbuch Kraftfahrzeugtechnik<sup>114</sup> entfallen 90 Prozent aller Innovationen im Automobil auf die Elektronik, davon wiederum 80 Prozent in Form von Software. Das verdeutlicht, wie dramatisch die Bedeutung der IKT im Fahrzeug gestiegen ist. Um dem gerecht zu werden und das Innovationspotenzial zu heben, bedarf es entsprechender Aufwände in der Hard- und Softwareforschung.

### 7.3.1 Referenzarchitekturen aufbauen

Die Forschungslandschaft in Deutschland ist vielfältig. Befragte Experten empfehlen, diese Vielfalt an Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zu fördern, die Ergebnisse aber regelmäßig zusammenzuführen, um daraus konsistente Strategien abzuleiten.

- Autonomes Fahren
- X-by-Wire-Steuerung
- Offenheit und Erweiterbarkeit
- Integration des Fahrzeugs in die Umgebung (Car-to-X)

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, wie es bereits die Nationale Roadmap Embedded Systems<sup>115</sup> empfiehlt. Diese Referenzarchitekturen sollten folgende Funktionsbereiche abdecken:

Um auch das Niedrigpreissegment adressieren zu können, sollten zum Aufbau der neuen Architekturen Komponenten verwendet werden, die bis 2030 kostengünstig verfügbar sein werden. Zudem sollte eine enge Verzahnung mit den Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des Bundes zum Aufbau von IKT-Infrastrukturen angestrebt werden.

### 7.3.2 Anpassung der Ausbildung und Lehre

#### Hochschulen

Die Hochschulen müssen ihre einschlägigen Studiengänge stärker auf Elektromobilität ausrichten und dabei in Betracht ziehen, dass die Anforderungen an Ingenieure wachsen werden, weil sie es künftig mit viel komplexeren Systemen zu tun bekommen. „Wir müssen frühzeitig Spezialisten ausbilden, langfristig brauchen wir neue Berufsbilder“, resümiert ein befragter Experte. Studiengänge wie Elektrotechnik, Informatik und Mikrosystemtechnik müssen weiterentwickelt werden, gerade im Hinblick auf disziplinenübergreifende Felder wie die Mechatronik. Neue, fakultätsübergreifende Studiengänge sollten eingerichtet werden. Denkbar wäre ein integriertes Querschnittsfach „Mechatronische und hybride Systeme“, zu dessen Curriculum Lernfelder wie

Leistungselektronik, IKT, Softwareentwicklung, Regelungstechnik und Energiemanagement gehören würden. Ferner ist eine verstärkte wirtschaftswissenschaftliche Ausbildung, auch von Ingenieuren, in Bezug auf Innovationsmanagement notwendig.

#### Berufsausbildung

„Wir müssen massiv aus- und weiterbilden, um Defizite zu beseitigen und für die Zukunft vorbereitet zu sein“, fordert Prof. Dr. Achim Kampker von der RWTH Aachen<sup>116</sup> und fährt fort: „In den entscheidenden Fachgebieten – wie zum Beispiel der Elektrochemie, der Leistungselektronik und den Werkstätten – fehlen ausgebildete Fachkräfte. Es muss sichergestellt werden, dass kurz- und mittelfristig qualifiziertes Personal zur

114) Braess/Seiffert (2007), Handbuch Kraftfahrzeugtechnik

115) ZVEI (2009), S. 31

116) <http://www.streetscooter.rwth-aachen.de/news/news/article/rwth-aachen-stellthesen-zur-zukunft-der-elektromobilitaet-auf/49/>

Verfügung steht, um die Anforderungen der Elektromobilität zu beherrschen und auf den Wandel vorbereitet zu sein.“ Auch der VDE weist in seiner Studie zur Elektromobilität auf Ausbildungsdefizite hin.<sup>117</sup>

Deutschland muss also eine Bildungsoffensive starten und dabei auch neue Wege, wie etwa Online-Lernen, gehen, wenn es in der Entwicklung der Elektromobilität mithalten und langfristig konkurrenzfähig bleiben will; das ist sowohl für die Politik als auch für die Unternehmen wichtig. Diese Investition in die Produktionsfaktoren Humankapital und Wissen sollte ergänzt werden durch die gezielte Anwerbung ausländischer Fachkräfte, besonders IT-Spezialisten. Ein von den Unternehmen gesteuertes Nachfragemodell, in dem der jährliche Bedarf an kritischen Berufen quantifiziert wird, und ein vom Staat über ein Punktesystem reglementiertes Angebotsmodell könnten zu diesem Zweck miteinander vermischt werden. Deutschland sollte sich freilich Mühe geben,

zu einem Standort zu werden, der für qualifizierte Einwanderer attraktiv ist.

Im Kfz-Handwerk wird es darauf ankommen, die duale Berufsausbildung schnell zu ergänzen oder sie ganz neu aufzusetzen, um die Werkstätten mit Wissen über Elektroautos zu versorgen; bisher fehlt das noch weitgehend. Elektro-, Energie- und IKT-Technik müssen von künftigen Kfz-Mechanikern oder -Mechatronikern in naher Zukunft weit besser beherrscht werden als heute, wo in der Werkstatt ausschließlich Mitarbeiter mit einer Zusatzausbildung als Hochspannungselektroniker an Elektrofahrzeugen arbeiten dürfen. Berufsbegleitend sollten Organisationen wie Dekra und TÜV Lehrgänge anbieten, die neben Kfz-Mechanikern auch die Betreiber klassischer Tankstellen sowie traditionelle Zulieferer und Gebrauchtwagenhändler mit den technischen Besonderheiten und Sicherheitsanforderungen von Elektroautos vertraut machen.

### 7.3.3 Fakultätenübergreifende Forschung

Viele Forschungsthemen, die für Elektromobilität relevant sind, setzen sich aus interdisziplinären Fragestellungen zusammen und können nur durch eine fakultätenübergreifende Herangehensweise gelöst werden. In diesem Abschnitt werden die wesentlichen Technologie- und Wissensfelder beschrieben, die zu einer erfolgreichen Transformation der IKT-Architektur erforderlich sind.

#### Sensorik, Cyber-Physical Systems und Embedded Systems

In der Sensorik hat Deutschland eine Spitzenstellung. Die Politik sollte alles daran setzen, Wirtschaft und Wissenschaft dabei zu unterstützen, diese zu halten. Der Know-how-Transfer zwischen öffentlicher Forschung und privaten Unternehmen darf auf diesem Gebiet nicht abreißen. Die Gelder für die Sensorikforschung sollten aufgestockt werden, denn es gilt, erfolgskritische Themen zu bearbeiten: für die Umfeldüberwachung müssen kostengünstige Lösungen entwickelt werden; neue Antriebssysteme erfordern spezielle Sensoren – intelligente ebenso wie solche mit geringerem Energieverbrauch, höherer Zuverlässigkeit, geringerer Empfindlichkeit gegen Störungen und der Fähigkeit, sich selbst zu überwachen. Außerdem gilt es, insgesamt die Mikrosystemtechnik für den Bau von Sensoren weiterzuentwickeln. Um diese

Ziele zu fördern, sollten Forschungsprojekte aus IKT und Sensorik in das 8. Europäische Rahmenprogramm aufgenommen werden.

Hinsichtlich Cyber-Physical Systems und Embedded Systems muss weitere Kompetenz aufgebaut werden. Es geht hierbei um die Zusammenführung von Systemen, die unabhängig voneinander entwickelt worden sind („Systems of Systems“) und um die Entwicklung offener, hoch zuverlässiger verteilter Systeme sowie robuster und deterministischer Kommunikations- und Softwareplattformen<sup>118</sup>, ferner um die Schaffung semantischer Technologien und entsprechender Algorithmen, die Integration von Sensoren über Nano- und Mikrosystemtechnik sowie die Entwicklung hybrider Systeme, in denen kontinuierliche und diskrete Systeme miteinander kombiniert werden.

Besonders wichtig ist es in diesem Zusammenhang, die Integration der Embedded Systems in geeignete übergeordnete IT-Systeme von Beginn an vorzusehen. Insgesamt muss sichergestellt werden, dass die Softwareentwicklung in Deutschland ein Niveau erreicht und behält, das verhindert, dass Flotten deutscher Elektrofahrzeuge künftig auf Software und Services aus den USA, etwa von großen Internetdienstleistern, angewiesen sind.

<sup>117</sup> Böcker et al. (2010), S. 82

<sup>118</sup> Siehe Abschnitte 4.2.1.8 und 4.2.2.1



## Kommunikationssoftware – Mobility Internet

Der Weg zu einer einheitlichen Kommunikationsinfrastruktur, die Elektroautos, ihre Energieversorgung, ihre geografischen Koordinaten, die Verkehrssituation und Sicherheitsanwendungen einbezieht und damit das ganze komplexe Netz der Elektromobilität abbildet, ist weit. Er muss aber heute bereits beschrritten werden, denn das Mobility Internet wird die entscheidende Rolle für den Erfolg der Elektromobilität spielen.<sup>119</sup> „Das Ganze systemisch zu verbinden, ist eine Riesenherausforderung, aber sie ist lösbar“, urteilt ein Kenner des Markts. Wichtig ist es zudem, die Car-to-X-Kommunikation zu standardisieren und die Einbindung von Autos in das „Internet der Dinge“ voranzutreiben, also ihre intelligente Vernetzung mit anderen Systemen aus dem Alltag. Hier sollte der Schwerpunkt auf der zuverlässigen Kommunikation im Nahbereich mit garantierten Bandbreiten liegen. Auch die Weiterentwicklung des Software Defined Radio<sup>120</sup> spielt eine wichtige Rolle, um die Technologie in die Lage zu versetzen, auf Störungen in der Umgebung mit automatischer Anpassung zu reagieren und auf diese Weise verlässliche Verbindungen sicherzustellen.

## Technologien für funktionale Sicherheit und Datensicherheit

Wegen der steigenden Bedeutung von sicherheitskritischer Software für die Steuerung von Fahrzeugen, aber auch von Programmen zur Verwaltung aller im Fahrzeug anfallenden Daten sollte ein Forschungsschwerpunkt auf funktionale Sicherheit (Safety) und Datensicherheit (Security) gelegt werden – besonders jedoch auf eine Verknüpfung beider Felder: „Eine Kombination von Mechanismen für Safety und Security wäre zielführend und hilfreich“, rät dringend ein Fachmann, der für diesen Bericht Fragen beantwortete. Auch die Offenheit zukünftiger Architekturen, also die Fähigkeit zum Plug-and-Play, gilt es zu berücksichtigen.

## Halbleiter

Software für die Elektromobilität muss auf sichere und effiziente Weise ausgeführt werden können. Um das sicherzustellen, bietet sich an, im Bereich der Halbleitertechnik die Erforschung deterministischer und energieeffizienter Microchip-Technologien zu fördern.

## Batterie- und Energiemanagement

Unter Experten ist umstritten, ob Deutschland seinen Rückstand bei der Batterietechnologie aufholen kann. Einig waren sich die befragten Fachleute je-

doch, dass hierzulande Kompetenz beim Aufbau von Batteriepaketen aus Einzelzellen („Packaging“) und beim Energiemanagement erworben werden sollte. Batterieforschung, das gilt es zu bedenken, sollte nicht nur auf bessere elektrochemische Parameter und Sicherheitstechnik abzielen, sondern auch die fahrzeugspezifische Verwendung der Batterien berücksichtigen. Das betrifft das Batteriemangement in Bezug auf bestimmte Fahrzeuge und in Verbindung mit der Lade-Infrastruktur, sei es über chemische oder Spannungssensoren.

## Autonome kognitive Systeme und Architekturen

Die Entwicklung von kostengünstigen Techniken zur Entwicklung autonomer, kognitiver Systeme sollte vorangetrieben werden. Das umfasst die Entwicklung geeigneter IKT-Architekturen und die Entwicklung von Datenfusionstechniken, um aus den Daten kostengünstiger, aber fehlerbehafteter Sensoren zuverlässige Zustandsdaten berechnen zu können.

## Software-Entwicklungsprozess und Werkzeuge

Durch die zunehmende Bedeutung von Software für den Entwicklungsprozess zukünftiger IKT-Architekturen steigen die Anforderungen an den Prozess selbst, aber auch an die dazu benötigten Werkzeuge. Speziell der durchgehende Einsatz von modellbasierten Entwicklungswerkzeugen sollte gefördert werden, um Designentscheidungen frühzeitig simulieren und validieren, um Software-Code in großem Umfang erzeugen, Plattformen konfigurieren und formale Methoden in den Entwicklungsprozess integrieren zu können.

Zudem gilt es, zu untersuchen, inwiefern Zertifizierungsrichtlinien und Entwicklungsprozesse sowie die erforderlichen Werkzeuge miteinander synchronisiert werden können. Im Vordergrund steht das Ziel, eine Vorgehensweise zu erarbeiten, die es ermöglicht, statt der Gesamtsysteme einzelne Module von Systemen zu zertifizieren.

## Innovationsmanagement

Innovative Technologien sollten beherrscht werden. Damit technischer Fortschritt jedoch zu wirtschaftlichem Erfolg führt, ist es wichtig, zu erforschen, wie sich Technologien in bestehende Unternehmen integrieren lassen. Um das leisten zu können, ist es erforderlich, Technologie- und Innovationsmanagement sowie Organisationsentwicklung integriert und im Zusammenhang zu betrachten.

119) Corwin/Norton (2010), S. 8  
120) Siehe Abschnitt 4.1.5

KAPITEL 8

# Fazit und Ausblick

In diesem Bericht 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.

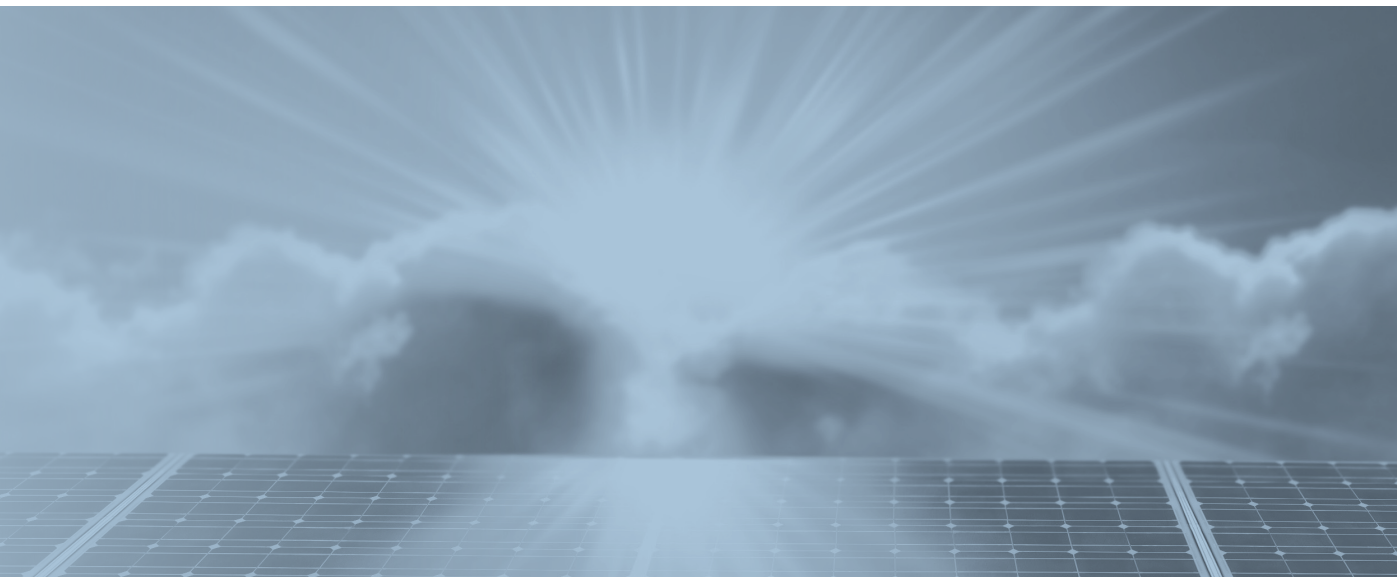
Das Spektrum der Aktivitäten zur Elektromobilität umfasst nationale Maßnahmen – die Nationale Plattform Elektromobilität (NPE), Modellregionen und Aktivitäten zur IKT in der Infrastruktur – sowie internationale Aktivitäten, etwa Forschung auf EU-Ebene oder Standardisierungsbemühungen. Der vorliegende Bericht muss in diesem Gesamtkontext betrachtet werden. Er eröffnet eine neue Dimension der Wertschöpfung im Automobilmarkt und beschreibt damit einen wichtigen Baustein für die industrielle Weiterentwicklung. So zeigen aktuelle Untersuchungen, dass die Anzahl der Beschäftigten in Deutschland zwar steigt, dieses Wachstum jedoch nicht im sekundären Bereich, der Industrie, sondern im tertiären Bereich – Dienstleistungen – entsteht. Die im Bericht dargestellten Szenarien beschreiben mögliche Entwicklungen der Automobilindustrie in das Feld der Dienstleistungen.

Die Mobilität der Zukunft wird geprägt sein durch das Spannungsfeld 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 Energienachfrage 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 statt des traditionellen Fahrzeugeigentums Mobilität als Dienstleistung und deren individuelle Optimierung im Mittelpunkt stehen.

(Teil-)Autonomes Fahren ist ein Beispiel für eine zukünftige Anforderung. Es eröffnet viele Nutzungsmöglichkeiten; so hilft es, die individuelle Mobilität des immer größer werdenden Anteils älterer Verkehrsteilnehmer zu erhalten. Gleichzeitig unterstützt es neue Nutzungskonzepte wie Carsharing, wodurch die Ausnutzung der Fahrzeuge deutlich erhöht und der Bedarf an Straßen und innerstädtischen Parkflächen deutlich reduziert werden kann. Gleiches gilt für den gewerblichen Bereich, in dem die Auslastung von LKW deutlich erhöht werden kann.

Auch Staus und Energieverbrauch können durch eine geschickte Interaktion und Koordination autonomer Fahrzeuge verringert werden, etwa durch das automatisierte Fahren mehrerer Fahrzeuge im Konvoi.



Insgesamt ergeben sich eine Vielzahl neuer Anwendungsfälle und Geschäftsmöglichkeiten, die eine zusätzliche wirtschaftliche Dynamik erzeugen werden, die heute noch nicht absehbar ist.

Die zunehmende Abbildung von Funktion nicht mehr durch Mechanik und klassischen Maschinenbau, sondern durch Mechatronik und schließlich durch IKT bedeutet aber auch, dass die Gesetze der IKT-Industrie an Bedeutung gewinnen werden: Erstens verkürzen sich die Produkt-Lebenszyklen dramatisch; die Anbieter müssen also hohe Margen erwirtschaften, um ihre Aufwendungen in Forschung und Entwicklung zu amortisieren. Zweitens verdienen in der IKT-Industrie besonders die Softwarehersteller Geld. Und drittens müssen Unternehmen in ihren Prozessen und ihrer Unternehmenskultur die Fähigkeit ausbilden, mit immateriellen Ressourcen umzugehen, zum Beispiel mit Software und mathematischen Modellen.

Softwareentwicklung im Automobilbereich hat noch nicht denselben Grad der Industrialisierung erreicht wie beispielsweise im Bereich betrieblicher Informationssysteme. Das muss sich ändern, denn es würde die Wettbewerbsfähigkeit des Standorts Deutschland in der Fahrzeugbranche wesentlich steigern, wenn Software hier nach den gleichen professionellen und ingenieurmäßigen Maßstäben entwickelt würde, die in der Mechanik und Elektrik erst eine kosteneffektive und innovative Entwicklung und Produktion ermöglicht haben. Wenn es gelänge, die sprichwört-

liche deutsche Gründlichkeit auf den Softwarebereich im Automobilbau zu übertragen und damit die weltweit zuverlässigsten IKT-Plattformen für Fahrzeuge zu entwickeln, wäre das ein riesiger Fortschritt. Dass diese Tugenden in der deutschen und europäischen Industrie vorhanden sind, wurde im Markt für Embedded Systems bereits nachgewiesen. Neben der Automatisierungstechnik ist hier insbesondere die Luftfahrttechnik (Avionik) hervorzuheben.

Ausbildungssysteme, Universitäten und die Automobilindustrie in Deutschland genießen international einen sehr guten Ruf. Kultur und Know-how sind gut in das europäische Umfeld eingebettet, was in der Vergangenheit immer wieder zu Spitzenleistungen in der technischen Innovation geführt hat. Die Risikobereitschaft, die erforderlich ist, um diese Innovationen in Geschäft umzusetzen, ist jedoch schwächer ausgeprägt als in anderen Teilen der Welt. Das gilt auch für die Bereitschaft zu schneller Veränderung und das Sich-Einlassen auf kürzere Produktzyklen – beides keine Basisbausteine deutschen Unternehmertums. Das ist ein generelles Thema, das von allen Akteuren in Wirtschaft, Wissenschaft, Politik und Gesellschaft gleichzeitig angegangen werden muss.

Unter anderem durch stark gestiegenes Umweltbewusstsein genießt die Elektromobilität große öffentliche Aufmerksamkeit, und es wurden viele Aktivitäten angestoßen. Es gilt jetzt, diese Welle zu nutzen, um einen nachhaltigen Standortvorteil für Deutschland herauszuarbeiten und zu sichern.

## APPENDIX A

# Zusammenfassung der Ergebnisse des auf Interviews basierenden Dialogprozesses

## 1. Vorgehen

Im Rahmen des Forschungsprojekts hat das Konsortium verfügbare Forschungsergebnisse und Studien zur Elektromobilität sowie Methodenwissen über die Rollen von Wirtschaft, Wissenschaft, Gesellschaft und Politik vor dem Hintergrund disruptiver technologischer Innovationen zusammengetragen und ausgewertet. Parallel dazu wurden etwa 250 vertrauliche, semistrukturierte Tiefeninterviews zu gesellschaftlichen und technologischen Themen mit führenden Vertretern von Wirtschaft, Wissenschaft, Gesellschaft und Politik geführt. Es wurden vier Hauptziele verfolgt:

### A. Darstellen der Rolle der IKT im Fahrzeug

bis zum Jahr 2030 vor dem Hintergrund der gegenwärtigen Diskussion um Elektromobilität.

**B. Strukturierte Ausarbeitung folgender Aspekte** mit dem Ziel, die Basis für einen möglichst breiten Konsens hinsichtlich möglicher Ergebnisse und Strategien zu schaffen:

- Motivation: Umwelt, Ressourcen, Mobilität, Wettbewerb – warum reden wir über Elektromobilität?
- Definition von Elektromobilität und der Rolle der IKT sowie von gemeinsamen Interessen und deren Grenzen: Existiert Einigkeit, worüber wir sprechen wollen? Wo bestehen Differenzen?
- Was sind die größten Herausforderungen für die Automobil-, die Energie- und die IKT-Branche?
- Welche Mission leitet sich daraus für die Akteure am Standort Deutschland ab?
- Was wurde bislang von der Politik geleistet, und zwar auf Bundes-, Länder- und EU-Ebene. Wie steht der Standort Deutschland im internationalen Vergleich da? Was sind die Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken?
- Welche Handlungsempfehlungen leiten sich daraus für Wirtschaft, Politik, Wissenschaft und Gesellschaft ab?

### C. Sammeln verschiedener Perspektiven

In semistrukturierten Tiefeninterviews, also in intensiven persönlichen Gesprächen anhand eines Leitfadens, hatten alle Gesprächsteilnehmer die Gelegenheit, ihre Perspektiven vorzutragen, und zwar anonymisiert. Gleichzeitig bekamen sie Einblick in den aktuellen Diskussionsstand, der sich aus den bis dato jeweils geführten Gesprächen ergeben hatte, und konnten so einen Mehrwert aus den Interviews ziehen. Zugleich wurde ihr Interesse am gesamten Thema Elektromobilität und an weiterem Engagement in diesem Zusammenhang geweckt.

### D. Diskussion der Akteure

So kam schrittweise eine umfassende Diskussion mit zahlreichen entscheidungsrelevanten Akteuren in Gang, deren Positionen, wenn auch einzeln anonymisiert, so doch insgesamt transparent waren. Diese Diskussion schuf die Voraussetzungen, um konsistente Handlungsempfehlungen an Wirtschaft, Wissenschaft und Politik zu formulieren. Nachdem der Fokus des Projekts anfänglich nur auf der IKT-Architektur innerhalb des Fahrzeugs lag, wurde im Verlauf der Gespräche zunehmend deutlich, dass es wegen der Komplexität der gegenseitigen Abhängigkeiten erforderlich ist, den Gesamtzusammenhang zwischen Auto (Smart Car), Verkehrslenkung (Smart Traffic) und Energieversorgung (Smart Grid) zu betrachten. Daher wurde der Blickwinkel des Forschungsprojekts erweitert, um, ausgehend vom entstehenden Gesamtbild, Rückschlüsse auf die erforderliche Fahrzeugarchitektur ziehen zu können.

## 2. Ergebnisse der Interviews

Die Interviews zeigen, dass Deutschland zwar technisch prinzipiell gut für Elektromobilität aufgestellt ist und durchaus Chancen hat, zum Leitanbieter in diesem rasant an Komplexität gewinnenden Technologiespektrum zu werden. Das setzt allerdings voraus, dass Wirtschaft, Wissenschaft, Politik und Gesell-

schaft diese Komplexität als Chance begreifen und Kollaborationen eingehen, um ihre Stärken auszubauen und Defizite zu bereinigen.

Aus den Interviews wird erkennbar, dass Deutschland und Europa nicht nur vor technologischen Herausforderungen stehen. Es muss auch der Gesamtkomplex Smart Car, Smart Grid und Smart Traffic koordiniert angegangen werden, und dies nicht nur aus technologischer Sicht. In gesellschaftspolitischer, psychologischer und soziologischer Hinsicht gilt es, die Akzeptanz, sogar Begeisterung aufseiten künftiger Kunden, zu erzeugen.

Die weitaus meisten der befragten Akteure bemängeln eine erhebliche Intransparenz hinsichtlich Forschungsergebnissen, Aktivitäten oder Initiativen sowie in Bezug auf mögliche Kooperationspotenziale. Dies betrifft sowohl den Zugang zu den entsprechenden Informationen als auch deren Verständlichkeit. Die Unternehmen sollten auf ihre Stärken bauen und Synergien nutzen. Stattdessen ist die gegenwärtige Situation von Nervosität, Intransparenz, Aktionismus, Lobbyismus sowie Abgrenzung und Misstrauen geprägt.

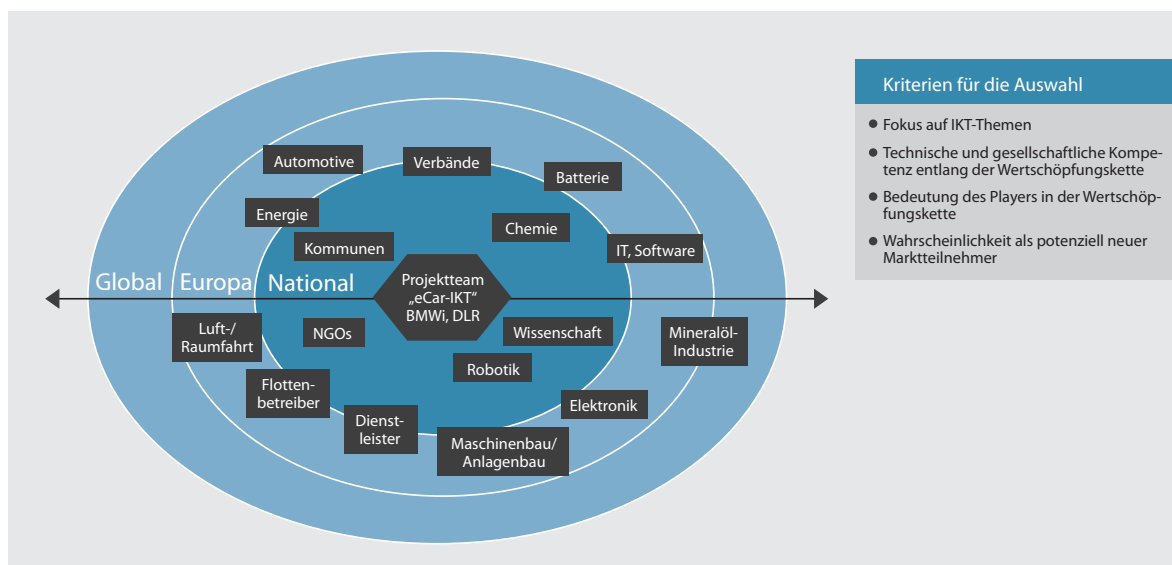
Vor dem Hintergrund des disruptiven Potenzials von Elektromobilität kommt den kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) aufgrund ihrer Flexibilität

eine besondere Bedeutung zu. Speziell den KMU fehlt der Zugang zu Netzwerken oder Kooperationspartnern. Relevante Zahlen, Daten und Fakten sind außerdem für sie mit vertretbarem Aufwand kaum zu beschaffen. Das Problem sind jedoch nicht nur fehlende personelle Ressourcen der KMU und mangelnde Kenntnis von Informationsquellen. Es fehlt außerdem der Gesamtüberblick, und zwar auch bezüglich ihrer Positionierungsmöglichkeiten im Wertschöpfungsnetzwerk.

Aufgrund der erheblichen Komplexität sind selbst renommierte Wissenschaftler oft nur bruchstückhaft darüber informiert, welche Forschungsprojekte in ihren Spezialgebieten laufen und was deren Erkenntnisse sind. Das hat parallele Projekte, ineffiziente Arbeiten und Fehlzuteilungen von Ressourcen zur Folge.

In der entscheidenden Innovationsphase wären Aufbruchsstimmung unter den Akteuren und eine Beschleunigung in Forschung und Entwicklung notwendig. Stattdessen verliert der Innovationsprozess an Fahrt, und bei den Akteuren wächst die Frustration. Mangelnde Transparenz und Orientierung, gegenseitiges Misstrauen der Akteure und fehlende Vernetzung bergen akut die Gefahr, dass Innovationspotenziale ungenutzt bleiben.

**Abbildung 21: Überblick über befragte Akteure nach Branchen und Kriterien für deren Auswahl**





Durch den vom Forschungsprojekt initiierten Dialogprozess konnte eine erste Gesamtsicht erstellt werden, und das Zusammenführen von vertraulichen und veröffentlichten Studien sowie von aktuellem Methodenwissen und Expertenmeinungen mündete in eine Gesamtschau des aktuellen Wissensstandes. Die Interviews offenbaren nicht nur die Bereitschaft vieler Akteure, sich weiterhin im Innovationsfeld Elektromobilität zu engagieren. Es wird auch deutlich, dass sie zur partnerschaftlichen Zusammenarbeit bereit sind und Hemmnisse überwinden wollen. Entsprechend hoch ist das Interesse, die für diesen Bericht aufgenommenen Gespräche fortzuführen und weitere Akteure darin einzubinden. Häufig wurde der Wunsch geäußert, möglichst bald die Ergebnisse der ersten Befragungsrunde zu erfahren und weiter zu diskutieren.

Darüber hinaus wurde die Notwendigkeit betont, bei Diskussionen über technologischen Fortschritt bereits in der Frühphase gesellschaftliche Fragen zu berücksichtigen. Technologischer und gesellschaftlicher Wandel müssen sich gemeinsam entwickeln und ge-

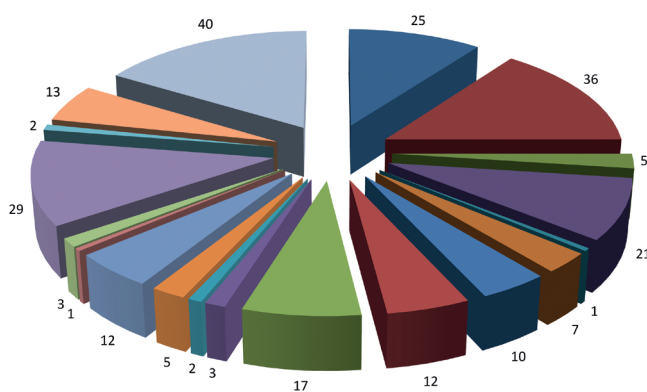
meinsam geplant werden. So kann auch Misstrauen abgebaut und können Kenntnis und Begeisterung bei den potenziellen Käufern und Nutzern von Elektrofahrzeugen gefördert werden. Darum sollten Akteure in den Prozess eingebunden werden, die Perspektive und Interessen zukünftiger Kunden vertreten.

Ein zentrales Ergebnis des Berichts ist die Einsicht der befragten Akteure, dass eine zielgerichtete, IKT-gestützte Moderation und die Steuerung einer umfassenden Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Elektromobilität notwendig sind. Auch für andere – vor allem für disruptive – Innovationsfelder gibt es Bedarf an einer solchen gezielten Prozess- und Entwicklungssteuerung. Deren Ziel ist die Sicherung der Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit des Technologie- und Industriestandorts Deutschland.

### 3. Übersicht über die geführten Interviews

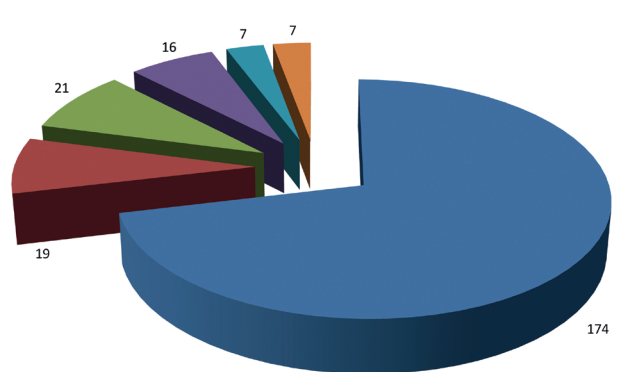
Die folgenden Abbildungen geben einen Überblick über die Verteilung der Experten:

**Abbildung 22: Verteilung der befragten Experten auf Branchen**



- OEM ( 5 )
- OES ( 35 )
- Neue Automotiv TN ( 10 )
- Energie ( 3 )
- Robotik ( 3 )
- Luft-/Raumfahrt ( 5 )
- Anlagen-/Maschinenbau ( 5 )
- Elektronik ( 8 )
- IT/Software ( 5 )
- Batterie ( 5 )
- Logistik ( 5 )
- Chemie ( 5 )
- Dienstleistungen ( 5 )
- Mineralölindustrie ( 2 )
- Umweltorganisationen ( 5 )
- Bundes-/Branchenverbände ( 8 )
- Verbraucherorganisationen ( 5 )
- Politik ( 15 )
- Wissenschaft ( 20 )

**Abbildung 23: Verteilung der Interviewpartner auf Regionen**



- Deutschland
- EU ohne Deutschland
- Nordamerika
- Japan
- Indien
- China

## APPENDIX B

# Wertschöpfungsstrukturen und Geschäftsmodelle

## 1. Wertschöpfungsketten und Wertschöpfungsnetzwerke

Technologische Fortschritte im Automobilbereich ziehen Veränderungen in der Organisation der arbeitsteiligen Aktivitäten nach sich, die zur Herstellung notwendig sind. Die traditionelle lineare Wertschöpfungskette entwickelt sich zusehends zu einem neuen Wertschöpfungsnetzwerk. Wegen der steigenden Bedeutung von IKT im Automobil treffen Funktionen und Akteure aus ehemals getrennten Branchen aufeinander. Letztere stehen teils in Konkurrenz zu bestehenden Anbietern, teils ergänzen sie diese. Im Folgenden werden Darstellungs- und Analysekonzepte für Wertschöpfungsprozesse vorgestellt, die als Grundlage für die Beschreibung der derzeitigen Wertschöpfungsstruktur und der prognostizierten Veränderungen im Bericht dienen.

### A. Das Konzept der Wertschöpfung

Der Begriff Wertschöpfung wurde zuerst in der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung verwendet.<sup>121</sup> Die über alle Sektoren summierten Wertschöpfungen ergeben das Bruttoinlandsprodukt einer Volkswirtschaft.<sup>122</sup>

Das betriebswirtschaftliche Verständnis des Begriffs Wertschöpfung entstammt der Wertschöpfungsrechnung, die das Ergebnis des wertschaffenden Prozesses eines Betriebs als Wertgröße in Geldeinheiten und somit die Eigenleistung des Betriebes und damit dessen Beitrag zum Volkseinkommen ermittelt.<sup>123</sup> Diese Eigenleistung entspricht der „Summe der Roherträge, verringert um Vorleistungen, die zugekauft werden.“<sup>124</sup>

Wertschöpfung kann auf drei Ebenen betrachtet werden: auf der makroökonomischen Ebene, die den Beitrag von Wirtschaftssektoren zum Nationaleinkommen identifiziert, auf der Mesoebene, die auf Industrien beziehungsweise Branchen abzielt, oder auf der Mikroebene, wobei es um die innerbetriebliche Wertschöpfung geht.

### B. Wertschöpfung auf der Mikroebene

Die von Michael Porter (1985) eingeführte Wertschöpfungskette<sup>125</sup> ist auf der Mikroebene angesiedelt und sieht das Unternehmen „als eine Ansammlung voneinander unterscheidbarer, aber miteinander verbundener Produktionsfunktionen“. Porter definiert Wertschöpfungsaktivitäten als Produktionsfunktionen in Unternehmen, bei denen Input in Output umgewandelt wird. Wie aus *Abbildung 24* ersichtlich, unterteilt Porter die Wertschöpfungsaktivitäten eines Unternehmens in primäre Aktivitäten, die unmittelbar mit der physischen Leistungserstellung und -verwertung befasst sind, und unterstützende Aktivitäten, die für die primären Aktivitäten benötigt werden. Die Wertschöpfung schlägt sich in der Gewinnspanne eines Unternehmens nieder.<sup>127</sup>

### C. Wertschöpfung auf der Mesoebene

Erweitert man die Perspektive über die Grenzen eines Unternehmens hinaus, gelangt man zur Betrachtung von branchenweiten Wertschöpfungsstrukturen auf der Mesoebene. Bitran/Bassetti/Romano stellen fest, dass das starre Konzept der Wertschöpfungsketten aktuelle Strukturen nicht mehr abzubilden vermag, und sprechen von einer Evolution der Wertschöpfungsketten in Wertschöpfungsnetzwerke. Sie definieren ein Wertschöpfungsnetzwerk wie folgt:

“A value network [is defined] as one in which a cluster of actors collaborates to deliver the highest value to the end consumer and where each actor is responsible for the success or failure of the network.”<sup>128</sup>

Die Autoren stellen also die Kundenzentrierung von Netzwerken in den Vordergrund.<sup>129</sup> In diesem und folgenden Ansätzen werden nicht mehr Wertschöpfungsaktivitäten, sondern ganze Unternehmen mit ihren Wertschöpfungsprozessen analysiert.

Benger (2007) fügt in seiner Definition von Wertschöpfungsnetzwerken den Aspekt der fallweisen Konfiguration hinzu, der der Idee der grenzenlosen

121) Vgl. Töpfer (2005), S. 492  
122) Vgl. Gläser (2008), S. 393f  
123) Vgl. Weber (1993), S. 4660; Arentzen (1997), S. 4356  
124) Häberle (2008), S. 1364

125) Porter verwendet im Original den Begriff „value chain“, der in der deutschen Übersetzung mit „Wertkette“ wiedergegeben wird. Dieser ist inhaltsgleich mit der heute üblichen Bezeichnung „Wertschöpfungskette“.  
126) Porter (2000), S. 69  
127) Vgl. Porter (2000), S. 68  
128) Bitran/Bassetti/Romano (2003), S. 1  
129) Vgl. Bitran/Bassetti/Romano (2003), S. 1ff.

Unternehmung nach Picot/Reichwald/Wigand (2008) entspricht:<sup>130</sup>

„Wertschöpfungsnetzwerke sind ihrer Struktur nach dezentrale polyzentrische Netzwerke, die gekennzeichnet sind durch komplex-reziproke Beziehungen auf der Grundlage von Verknüpfungen zwischen autonomen, rechtlich selbstständigen Einheiten oder Akteuren. Sie bilden einen Pool von potenziellen Wertschöpfungspartnern, die fallweise zu Wertschöpfungsprozessen konfiguriert werden. Die Entstehung ist ökonomisch motiviert und auf die nachhaltige Erzielung von ökonomischem Mehrwert ausgerichtet. Rückgrat der Kommunikation und Interaktion bildet ein verteiltes Informationssystem.“<sup>131</sup>

Besondere Ausprägungen dieser Wertschöpfungsnetzwerke werden als Business Webs bezeichnet, die Zerdick et al. (2001) wie folgt definieren:

„Unter Business Webs werden Gruppen von Unternehmen verstanden, die unabhängig voneinander wertschöpfende Teilleistungen erstellen und sich gegenseitig ergänzen. Der Markterfolg dieser Unternehmen ist aneinander gekoppelt, da der Nachfrager erst durch das im gesamten Wertschöpfungsnetz entstandene Systemprodukt ganzheitliche Problemlösungen erhält, die sich gegenüber Konkurrenzprodukten durchsetzen müssen.“<sup>133</sup>

Wie in *Abbildung 25* dargestellt unterscheidet man in Business Webs zwei Rollen von Unternehmen: „Shaper“, die den Kern eines Business Webs darstellen und ein oder mehrere Kernsysteme sowie zentrale Standards und Schnittstellen kontrollieren, sowie „Adapter“, die nach Vorgaben der Shaper komplementäre Produkte oder Dienstleistungen erstellen.<sup>134</sup> Darüber hinaus können Adapter hinsichtlich ihrer Bindung an das Business Web unterschieden werden; mit wachsender Distanz zum Mittelpunkt sinkt ihre Bindung an das Business Web. Dieser Zusammenhang ist in *Abbildung 25* durch konzentrische Kreise dargestellt.

Dieses Konzept erweist sich als wertvoll für die Analyse der Wertschöpfungsstruktur im Kontext dieses Forschungsvorhabens: In der traditionellen Rollenverteilung stellen die OEMs die Shaper eines Wertschöpfungsnetzwerks da, weil sie sowohl durch ihre Spezifikationen den Standard des Automobils setzen – etwa für Zulieferer oder Zubehörhersteller –, als auch über das Vertriebsnetz den Zugang zu den Kunden kontrollieren. Mit wachsender Bedeutung der IKT werden Standards, die dort dominieren, samt ihrer Business Webs und Shaper in die Automobilindustrie importiert. Es entsteht ein polyzentrisches Netzwerk mit mehreren Shapern und anderen Machtverhältnissen.

Der Value-Net-Ansatz von Parolini (1999) ist ein weiteres Konzept der Darstellung von Wertschöpfungs-systemen. Im Gegensatz zu den oben beschriebenen

**Abbildung 24: Die Wertschöpfungskette eines Unternehmens nach Porter**<sup>132</sup>



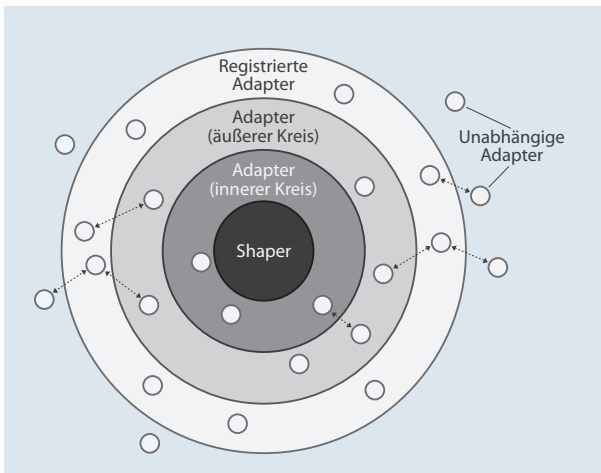
130) Vgl. Picot/Reichwald/Wigand (2008), S. 342ff.

131) Bengler (2007), S. 96f.

132) Porter (2000), S. 66; Töpfer (2005), S. 494

133) Zerdick et al. (2001), S. 182

134) Vgl. Franz (2003), S. 39f.; Picot/Schmid (2006), S. 32f.



**Abbildung 25: Shaper-Adapter-Beziehungen eines Business Webs**<sup>135</sup>

Modellen stellt es Wertschöpfungsaktivitäten von Unternehmensgrenzen abstrahiert dar und ist darum besser geeignet für die Analyse der Veränderungen von Wertschöpfungskonfigurationen in diesem Bericht.

Parolini definiert ein Wertschöpfungssystem wie folgt:

- „a value-creating system (VCS) can be defined as a set of activities creating value for customers;
- these activities are carried out using sets of human, tangible and intangible resources;
- they are linked by flows of material, information, financial resources and influence relationships;
- VCSs also include consumption activities, insofar as the value that final customers enjoy is also a function of the way they use and consume the potential value received;
- final customers not only receive and consume the value created, but can also participate in value-creating activities;
- activities may be governed by the market, a hierarchy or intermediate forms of co-ordination (company networks);
- various economic players may participate in a VCS (companies, families, public bodies, non-profit organizations) by taking responsibility for one or more activities;
- an economic player may participate in more than one VCS.“<sup>136</sup>

Cinzia Parolini unterscheidet also zwischen unterschiedlichen Ausprägungen von Wertschöpfungsakti-

vitäten (Realisierungs-, Unterstützungs-, Transaktionsmanagement- und Konsumaktivitäten) und den Strömen, die diese verbinden; explizit bezieht sie auch Konsumenten in die Wertschöpfungsaktivitäten ein.

Realisierungsaktivitäten sind Parolini zufolge direkter Bestandteil der Produktion oder Distribution physischer Produkte oder von Dienstleistungen, zum Beispiel der Fertigung von Fahrzeugteilen. Unterstützungsaktivitäten, zum Beispiel Marketing oder Produktionsplanung, verbessern die Effektivität und Effizienz anderer Aktivitäten, ohne an der Produktion selbst physisch beteiligt zu sein.

Der Bezug auf Unternehmen als kleinste Analyseeinheit wird hier durch eine stärker detaillierte Analyse ersetzt; Unternehmen sind nun Träger einer oder mehrerer Wertschöpfungsaktivitäten. *Abbildung 26* enthält die von Parolini vorgeschlagene grafische Darstellungsform.

#### D. Dynamik in Wertschöpfungssystemen

Ein Gegenstand dieses Forschungsvorhabens sind innovationsbedingte Veränderungen in Wertschöpfungssystemen; siehe hierzu die Abschnitte 3.4 und 5.2. Im Folgenden geht es deshalb um die Mechanismen, die Änderungen in Wertschöpfungsstrukturen bewirken.

Eine Wertschöpfungsstruktur ist das Resultat unternehmensstrategischer Entscheidungen darüber, welche Wertschöpfungsfunktionen integriert oder ausgelagert werden – also über die Wertschöpfungstiefe. Maßgeblich dafür ist die Attraktivität einzelner Funktionen, die von zwei Determinanten bestimmt wird: ihrer derzeitigen Attraktivität und ihrer strategischen Bedeutung. Nach Mol/Wijnberg/Carroll hängt die Attraktivität einer Wertschöpfungsaktivität vom Verhältnis zwischen abgeschöpftem und tatsächlich erzeugtem Wert ab. Kann ein Unternehmen, zum Beispiel aufgrund großer Verhandlungsmacht, mit einer Aktivität mehr Wert abschöpfen als es erzeugt, ist das für angrenzende Unternehmen ein Anreiz zur vertikalen Integration, zum Beispiel durch Übernahme von Unternehmen. Neue Akteure erhalten die Chance zum Markteintritt. Abhängig von bestehenden Machtverhältnissen kann das zu Veränderungen in der Abdeckung der Wertschöpfungsaktivitäten durch Unternehmen führen.<sup>137</sup> Christensen empfiehlt, Wertschöpfungsfunktionen nach ihrer strategischen Bedeutung zu besetzen. Unternehmen sollten besonders solche Wertschöpfungsfunktionen integrieren, die derzeit am Markt noch nicht in ausreichender Qualität angeboten werden, um sie zu verbessern und so Wettbewerbsvorteile aufzubauen.<sup>138</sup> OEMs

135) In Anlehnung an Franz (2003), S. 60

136) Parolini (1999), S. 62f.

137) Vgl. Mol/Wijnberg/Carroll (2005), S. 256

138) Vgl. Christensen (2003), S. 125–158

empfeht Christensen, vor allem neue, IKT-basierte Wertschöpfungsfunktionen mit diesen Eigenschaften zu identifizieren und zu besetzen.

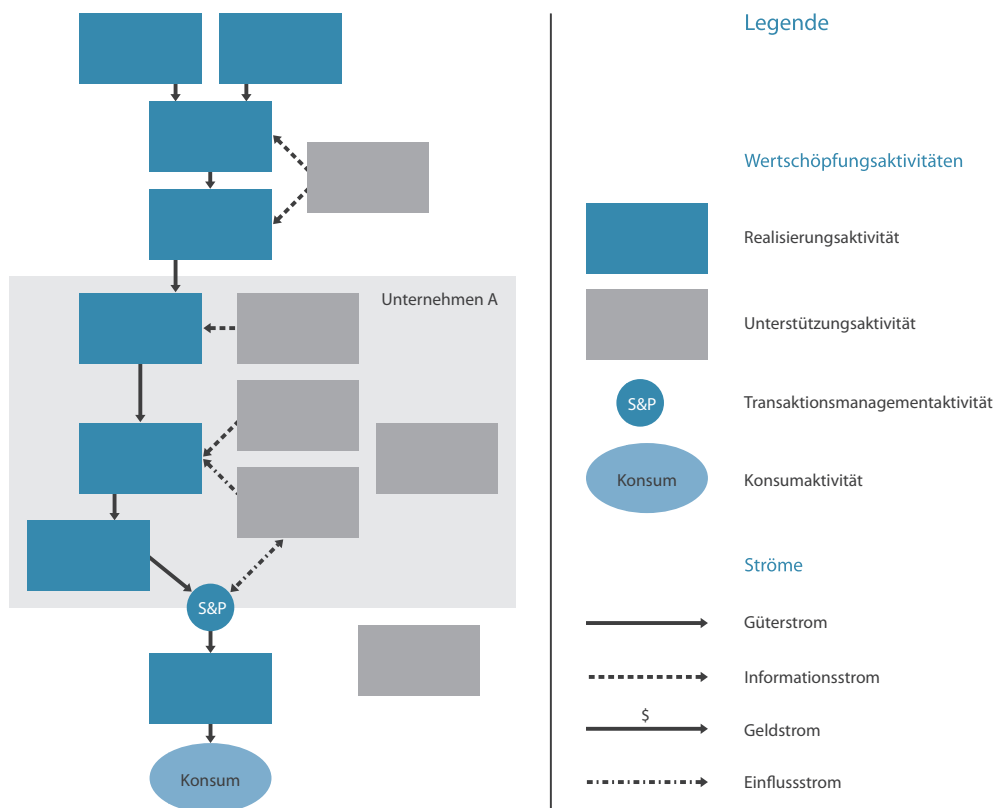
Darüber hinaus verursachen radikale Innovationen wie die Elektrifizierung des Antriebsstrangs oder die Einführung einer neuen IKT-Architektur auch Veränderungen in der Zusammenstellung und Interaktion der Wertschöpfungsfunktionen, unabhängig von deren Besetzung durch die Akteure. Neue Wertschöpfungsmodelle werden möglich durch Veränderungen in den Rahmenbedingungen wie Technologie, Kapitalverfügbarkeit oder durch Vorteile, die durch die Spezialisierung auf neue Technologien entstehen. Solche neuen Rahmenbedingungen führen zu neuen Gewinnmöglichkeiten für Unternehmen.<sup>139</sup> Innovative Unternehmen haben die Chance, ansonsten stabile Industriestrukturen zu verändern, weil sie die Rollen der Marktteilnehmer und deren Verbindungen untereinander aktiv gestalten können. Außerdem können sich die Innovatoren einen großen Teil der Innovationserträge sichern.<sup>140</sup>

Weiterentwicklungen in Wertschöpfungssystemen lassen sich in diesem Zusammenhang als unternehmerische Reaktionen auf Veränderungen der Rahmenbedingungen durch Innovationen verstehen. Um diese Chancen nutzen zu können, müssen Unternehmen über dynamische Kompetenzen<sup>141</sup> verfügen; also über die „Fähigkeit einer Organisation [...], erfolgskritische Ressourcencluster nicht nur aufzubauen und zu verstetigen, sondern eben auch zu rekonfigurieren, um so der Dynamik der Umwelt gerecht zu werden.“<sup>142</sup> Darum sollten die in der Automobilbranche aktiven Unternehmen offen sein für Wertschöpfungskonstellationen – neue Aktivitäten, neue Akteure in möglicherweise ungewohnten Kooperationsformen –, die den veränderten Rahmenbedingungen besser entsprechen.

## 2. Marktanalyse und Potenzialabschätzung

In eine Marktanalyse für Elektromobilität müssen eine Reihe von Unbekannten einbezogen werden. Die gegenwärtige Dynamik von Kundenerwartungen, Märk-

**Abbildung 26: Darstellung eines Wertschöpfungssystems nach dem Value-Net-Ansatz von Parolini<sup>143</sup>**



139) Vgl. North (1990), S. 83ff

140) Vgl. Jacobides/Knudsen/Augier (2006), S. 1202ff.

141) Zum Begriff der dynamischen Kompetenzen (dynamic capabilities) vgl. Teece/Pisano (1994); Teece/Pisano/Shuen (1997)

142) Schreyögg/Kliesch (2006), S. 462

143) Vgl. Parolini (1999), S. 80ff.; Picot/Schmid/Kempf (2007), S. 221



ten, Fahrzeugkonzepten, Antriebstechnologien, Kosten, Marktteilnehmern und Geschäftsmodellen führt zu einem noch nie dagewesenen Wettkampf in der Automobilindustrie. Mehrere Studien kommen daher zu sehr unterschiedlichen Einschätzungen.

Im Jahr 2010 gab es kaum rein elektrisch betriebene Fahrzeuge auf den Straßen. Die Energy-Delphi-Studie prognostiziert bis 2020 im schlechtesten Fall einen Anstieg auf ein Prozent des weltweiten Fahrzeugbestands, im besten Fall auf sieben Prozent. Die Autoren der Delphi-Studie erwarten hier einen mittleren Wert von vier Prozent.

Im Jahr 2030 wird ein Fahrzeugbestand von weltweit zwei Milliarden Fahrzeugen erwartet.<sup>144</sup> Der Anteil reiner Elektrofahrzeuge steigt laut der Delphi-Studie im schlechtesten Fall auf vier Prozent (80 Millionen elektrische Fahrzeuge), im besten Fall auf 15 Prozent (300 Millionen elektrische Fahrzeuge), der erwartete Wert für 2030 liegt bei zehn Prozent (200 Millionen elektrische Fahrzeuge).<sup>145</sup>

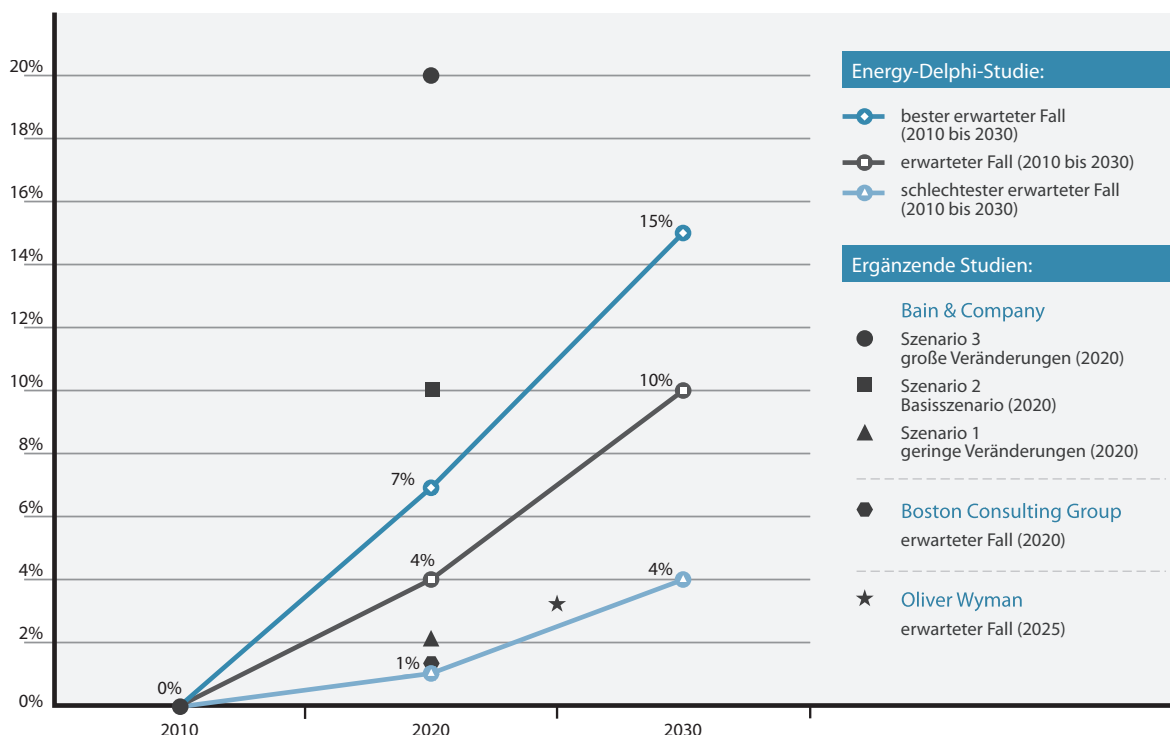
Nur wenige Studien betrachten einen so langen Zeithorizont wie den bis 2030. Die Studie Elektromobilität 2025

von Oliver Wyman prognostiziert für das Jahr 2025 weltweit einen Anteil rein elektrischer Autos von drei Prozent, ein Wert, der an der Untergrenze der Schätzung in der Delphi-Studie liegt.<sup>146</sup> Bain & Company sehen den Trend hin zur Elektromobilität optimistischer und gehen von einem Anteil von elektrisch betriebenen Fahrzeugen im Jahr 2020 zwischen zwei und 20 Prozent aus.<sup>147</sup> Die Boston Consulting Group geht dagegen für das Jahr 2020 nur von einem Anteil von einem Prozent aus.<sup>148</sup>

Abbildung 27 zeigt die große Bandbreite der in den Studien prognostizierten Werte. Interessant ist dabei, dass die bisherigen Studien nicht davon ausgehen, dass ein finanzkräftiger Marktteilnehmer versuchen könnte, eine aktive Marktbearbeitung zu betreiben.

Die Abschätzung des Marktpotenzials wird dadurch erschwert, dass die Verbreitung von Elektroautos nicht nur von einer deutlichen Kostendegression von Batterien und damit vom Wertverlust von Elektrofahrzeugen abhängt. In besonderem Ausmaß wird die Entwicklung des Markts für Elektromobilität auch vom weiteren Anstieg der Rohöl- und Kraftstoffpreise sowie von anderen Rahmenbedingungen beeinflusst.

**Abbildung 27: Anteil von reinen Elektrofahrzeugen am weltweiten Automobilbestand**



144) Vgl. Surges/Moritz (2008), S. 13  
 145) Vgl. Bechmann/Kaczynski (2010), S. 30  
 146) Vgl. Joas et al. (2009)  
 147) Vgl. Matthies et al. (2010), S. 5  
 148) Vgl. Dinger (2010), S. 7

## APPENDIX C

# Begriffserklärungen

**Aggregat** – funktionale Vereinigung mehrerer Komponenten (zum Beispiel Range-Extender, Klimaanlage)

**Aktor** – Element, das die Umgebung beeinflusst, zum Beispiel, indem es eine elektrische Eingangsgröße in eine mechanische Ausgangsgröße umwandelt

**Antriebsstrang** – Sammlung aller Komponenten, die die Umsetzung des Drehmoments vom Motor auf die Straße bewirken

**API** – engl., Application Programming Interface, Schnittstelle zur Anwendungsprogrammierung

**ASIC** – engl., Application-Specific Integrated Circuit, auch Custom Chip, also eine elektronische Schaltung, die anwendungsspezifisch als integrierter Schaltkreis (IC) realisiert wurde

**AUTOSAR** – AUTomotive Open System ARchitecture, Industriekonsortium zur Entwicklung und Standardisierung einer einheitlichen Softwarearchitektur für Embedded Software in Fahrzeugen

**CAN** – engl., Controller Area Network, Netzwerkbus für die Vernetzung von Steuergeräten in Fahrzeugen

**Car-to-X** – Übermittlung von Daten aus einem Fahrzeug an andere Fahrzeuge (Car-to-Car) oder an eine Infrastruktur (Car-to-Infrastructure), meist über Funk

**Cyber-Physical Systems (CPS)** – Forschungsgebiet, das sich mit Fragestellungen vernetzter Kompo-

nenten, oft eingebetteter Systeme, die sich selbstständig untereinander koordinieren, beschäftigt; diese Systeme werden auch als „Systems of Systems“ bezeichnet, weil ein Gesamtsystem meist aus mehreren, teilweise autonomen, Einzelsystemen besteht

**DECT** – engl., Digital Enhanced Cordless Telecommunications, ein Standard für Schnurlostelefone und kabellose Datenübertragung allgemein

**Drive-by-Wire** – manuelles Steuern eines Fahrzeugs ohne direkte mechanische oder hydraulische Steuerverbindungen zwischen Fahrer und Fahrzeug; umfasst Lenken (Steer-by-Wire) und Bremsen (Break-by-Wire) mittels elektronischer Übermittlung

**DSP** – Digitaler Signalprozessor, dient der kontinuierlichen Bearbeitung von digitalen Signalen, etwa Audio oder Video

**ECU** – engl., Electronic Control Unit, elektrische oder elektronische Module für Kontroll-, Steuerungs- und Regelungsaufgaben

**Electric Vehicle (EV)** – engl., elektrisch betriebenes Fahrzeug

**Embedded System** – engl., System aus einem oder mehreren elektronischen Rechner oder Computern, die in einen technischen Kontext eingebettet (embedded) sind

**E-Mobility** – engl., Elektromobilität

**Energiemanagement** – intelligentes, variables Management der Energieflüsse zwischen Bereitstellern und Verbrauchern im Fahrzeug

**Ethernet** – Technologie, die Software (Protokolle etc.) und Hardware (Kabel, Verteiler, Netzwerkkarten etc.) für kabelgebundene Datennetze spezifiziert

**FlexRay** – Feldbustechnologie zur Vernetzung von Steuergeräten in Fahrzeugen

**FPGA** – engl., Field Programmable Gate Array, Integrierter Schaltkreis (IC) der Digitaltechnik, in den eine logische Schaltung programmiert werden kann

**Gyrosensor** – Beschleunigungssensor, der Drehbeschleunigungen messen kann

**Hybrid** – im Automobilkontext ein Antriebssystem mit mindestens zwei unterschiedlichen Energiearten beziehungsweise Teil-Antriebssystemen, zum Beispiel Elektromotor und Verbrennungsmotor

**IKT** – Informations- und Kommunikationstechnologie

**IMA** – engl., Integrated Modular Avionics, Architekturvorschlag für den Luftfahrtbereich, definiert im Standard ARINC 651

**LIN** – engl., Local Interconnect Network, Kommunikationsbus hauptsächlich für die Anbindung von Sensoren und Aktoren in Fahrzeugen

**Mechatronik** – Zusammenwirken mechanischer, elektronischer und informationstechnischer Systeme, auch Mechanical Engineering, Electronic Engineering

**Middleware** – Virtualisierungsschicht zwischen Hardware und Anwendung; stellt Anwendungen generische Funktionen zur Verfügung; häufig können Anwendungsprozesse nur über von der Middleware bereitgestellte Funktionen kommunizieren

**Mobility Internet** – von Lawrence D. Burns geprägter Begriff, der ein Szenario der Konvergenz zwischen Kommunikationstechnik und Automotive beschreibt, in dem sowohl Fahrer als auch Auto jederzeit Zugriff auf alle im Internet verfügbaren Daten haben und dadurch hochwertige Funktionen, etwa Kollisionsvermeidung, realisieren können

**MOST** – engl., Media Oriented Systems Transport; serielles Ringbussystem zur Übertragung von Audio-, Video-, Sprach- und Datensignalen

**Nebenaggregat** – alle Hilfsmaschinen eines Fahrzeugs, die nicht oder nicht unmittelbar seine Fortbewegung bewirken

**OEM** – engl., Original Equipment Manufacturer, in diesem Bericht Hersteller von Fahrzeugen

**OES** – engl., Original Equipment Supplier, Hersteller von Komponenten, Originalteile-Zulieferer an OEMs

**Paralleler Hybrid (Vollhybrid)** – eine Hybrid-Variante, bei der sowohl der Elektromotor als auch der Verbrennungsmotor die Räder direkt mechanisch antreiben können, und zwar in drei Betriebsarten: nur elektrisch, nur mit Verbrennungsmotor oder mit beiden

**Plug-and-Play** – engl., für „Einstecken und Abspielen“ oder „Anschließen und Loslegen“

**Plug-in-Hybrid** – serieller Hybrid, dessen Verbrennungsmaschine als Range-Extender (siehe Stichwort) zur Verlängerung der Reichweite dient

**Range-Extender** – zusätzliches Aggregat, häufig ein Verbrennungsmotor, zur Erhöhung der Reichweite von Elektrofahrzeugen

**Rekuperation** – Energierückgewinnung, zum Beispiel beim Bremsen

**Safety** – engl., funktionale Sicherheit, Schutz der Umgebung oder der Umwelt vor Bedrohungen, die von einem Objekt beziehungsweise System ausgehen können

**Security** – engl., Sicherheit von Daten und Schutz von Objekten beziehungsweise Systemen vor Bedrohungen aus der Umwelt

**Sensor** – Element zur quantitativen Erfassung von Messgrößen

**Serieller Hybrid** – eine Hybrid-Variante, bei der der mechanische Antrieb der Räder allein durch Elektromotoren bereitgestellt wird und die Verbrennungsmaschine ausschließlich zur Stromerzeugung dient, ohne mechanische Verbindung mit den Rädern

**Smart Car** – Fahrzeug, das einen (teilweise) autonomen Fahrbetrieb ermöglicht

**Smart Grid** – intelligentes Stromnetz zur Optimierung der Stromverteilung, bestehend aus Stromerzeugern, Speichern, elektrischen Verbrauchern und Verteilnetzen

**Smart Traffic** – durch Informations- und Kommunikationstechnologie

gesteuerter Verkehr, zum Beispiel zur Minimierung von Unfällen und Staus

**SOA** – engl., Service-oriented Architecture, Dienste-orientierte Architektur, ein Architekturmuster aus dem Bereich der verteilten IT-Systeme, um Dienste zu strukturieren und zu nutzen

**Start/Stop** – Automatik, mit der Verbrennungsmotoren automatisch aus- und wieder eingeschaltet werden, etwa bei Ampelstopps

**System-on-Chip (SoC)** – Ein-Chip-System, Integration aller oder eines großen Teils der Systemfunktionen auf einem Stück Silizium

**Telematik** – zusammengesetzt aus Telekommunikation und Informatik, im Automobilkontext die Vernetzung von Fahrzeugen untereinander und mit der Infrastruktur (Car-to-X) sowie die Nutzung der damit verfügbaren Informationen

**WLAN** – engl., Wireless Local Area Network, lokales Funknetz

**X-by-Wire** – Ersatz von mechanischen und hydraulischen Komponenten zur manuellen Steuerung durch elektrische Steuersignale zwischen den verwendeten Bedienelementen und den ausführenden Aktoren

## APPENDIX D

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Aufbau und Struktur des Berichts	6
Abbildung 2:	Unterschiedliche Begriffe im Kontext der Elektromobilität	7
Abbildung 3:	IKT-Architektur als Bauplan eines Vehikels	8
Abbildung 4:	Leistungsfähigkeitskurven von etablierten Technologien und radikalen Innovationen im Vergleich	12
Abbildung 5:	Die Methodik der Future of Business (FoB)	13
Abbildung 6:	Prozess und Struktur	14
Abbildung 7:	Vorgehen bei den strategischen Dialogen	15
Abbildung 8:	Das Wertschöpfungssystem der Automobilbranche in Anlehnung an den Value-Net-Ansatz von Parolini	24
Abbildung 9:	Auswirkungen der gesellschaftlichen Trends	35
Abbildung 10:	Technologische Treiber von Veränderungen der IKT-Architektur	39
Abbildung 11:	Trend von mechanischen Komponenten zu voll integrierten, mechatronischen Komponenten	40
Abbildung 12:	Evolution der Komplexität	48
Abbildung 13:	Virtualisierungstrend	49
Abbildung 14:	Evolution der IKT-Architektur	49
Abbildung 15:	Abstraktionsschichten und höherwertige Funktionen	50
Abbildung 16:	Grobe Systemstruktur	51
Abbildung 17:	Darstellung des zukünftigen Wertschöpfungssystems der Automobilbranche in Anlehnung an den Value-Net-Ansatz von Parolini	58
Abbildung 18:	Kostenkurven einer alten und neuen IKT-Architektur im Vergleich (generisch)	62
Abbildung 19:	Zusammenfassung der SWOT-Analyse	67
Abbildung 20:	Überblick über wesentliche Handlungsempfehlungen	72
Abbildung 21:	Überblick über befragte Akteure nach Branchen und Kriterien für deren Auswahl	89
Abbildung 22:	Verteilung der befragten Experten auf Branchen	90
Abbildung 23:	Verteilung der Interviewpartner auf Regionen	90
Abbildung 24:	Die Wertschöpfungskette eines Unternehmens nach Porter	92
Abbildung 25:	Shaper-Adapter-Beziehungen eines Business Webs	93
Abbildung 26:	Darstellung eines Wertschöpfungssystems nach dem Value-Net-Ansatz von Parolini	94
Abbildung 27:	Anteil von reinen Elektrofahrzeugen am weltweiten Automobilbestand	95

## APPENDIX E

# Literaturverzeichnis

- Adis, S. et al. (2009):** Zukunft und Zukunftsfähigkeit der Informations- und Kommunikationstechnologien und Medien – Internationale Delphi-Studie 2030, Münchener Kreis, EICT, Deutsche Telekom, TNS Infratest, elektronisch veröffentlicht: [http://www.tns-infratest.com/presse/zukunft\\_ikt.asp](http://www.tns-infratest.com/presse/zukunft_ikt.asp)
- AMA – Fachverband für Sensorik e.V. (2010):** Sensor- und Messtechnik im Aufwind. Elektronisch veröffentlicht: [http://www.ama-sensorik.de/media/2010\\_10\\_pm\\_quartalsumfrage\\_q2\\_10.doc](http://www.ama-sensorik.de/media/2010_10_pm_quartalsumfrage_q2_10.doc) [Stand: 2010 12 08]
- ANSI/EIA 632 (1999):** Standard, Process for Engineering a System, January 1999
- Arentzen, U. H. (1997):** Gabler Wirtschaftslexikon, Wiesbaden (Gabler)
- ARINC:** Design Guidance for Integrated Modular Avionics, ARINC Report 651
- ARINC:** Avionics Application Software Standard Interface, ARINC Report 653 Part 1–3
- Arnold, H. et al. (2010):** Elektromobilität – Herausforderungen für Industrie und öffentliche Hand, Frankfurt (PricewaterhouseCoopers)
- Asanovic, K. et al. (2009):** A View of the Parallel Computing Landscape; Commun. ACM, ACM, 2009, 52, S. 56–67
- AUTOSAR:** Specification, Release 4.0
- Bahill, A.T.; Gissing, B. (1998):** Re-evaluating Systems Engineering Concepts Using Systems Thinking, in IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, 28 (4), S. 516–527
- Bass, L. et al. (2003):** Software Architecture in Practice (Addison-Wesley)
- Bechmann, M.; Kaczynski, S. (2010):** Energy Delphi, Abschlussbericht, Rahmenbedingungen für innovative Geschäftsmodelle auf Basis von E-Energy
- Benger, A. (2007):** Gestaltung von Wertschöpfungsnetzwerken, Berlin (GITO)
- Bitran, G.; Bassetti, P. F.; Romano, G. M. (2003):** Supply Chains and Value Networks: The Factors Driving Change and Their Implications to Competition in the Industrial Sector, MIT Center for Digital Business Research Briefs, MIT Sloan School of Management, Cambridge
- BMVBS, BMBF, BMWi (2006):** Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, elektronisch veröffentlicht: <http://www.now-gmbh.de/uploads/media/Innovationsprogramm.pdf>
- Böcker, J. et al. (2010):** VDE-Studie Elektrofahrzeuge: Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf, Frankfurt am Main (VDE)
- The Boston Consulting Group (2010):** Batteries for Electric Cars
- Bundesregierung (2009):** Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung, elektronisch veröffentlicht: <http://www.bmwi.de/Dateien/BMWi/PDF/nationaler-entwicklungsplan-elektromobilitaet-der-bundesregierung,property=pdf,berreich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>
- Bundesregierung (2010):** Etablierung der Nationalen Plattform Elektromobilität am 3. Mai 2010 – Gemeinsame Erklärung von



Bundesregierung und deutscher Industrie, elektronisch veröffentlicht: [http://www.bmu.de/files/download/application/pdf/gemeinsame\\_erklaerung\\_elektromobilitaet\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/files/download/application/pdf/gemeinsame_erklaerung_elektromobilitaet_bf.pdf)

**Butz, H. (2010):** Neue Methoden und Prozesse im Zentrum der „Systems of Systems“ Innovationsstrategie, Vortrag am 29.06.2010, 2. Fachkongress „Echtzeitentwicklung“

**Brooks, F. P. (1986).** No Silver Bullet – Essence and Accident in Software Engineering, in: Proceedings of the IFIP Tenth World Computing Conference, S. 1069–1076

**Christensen, C. (1997):** The Innovator’s Dilemma, First Collins Business Essential Edition, published 2006, New York (Collins)

**Christensen, C.; Raynor, M. (2003):** The Innovator’s Solution – Creating and Sustaining Successful Growth, Boston, Massachusetts (HBS Press)

**Christensen, C.; Scott, A.; Roth, E. (2004):** Seeing What’s Next, Boston, Massachusetts (HBS Press)

**Clements, P. et al. (2003):** Documenting Software Architectures – Views and Beyond (Addison-Wesley)

**Comission of the European Communities (2008):** Impact Assessment, Action Plan for the Deployment of Intelligent Transport Systems in Europe and Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council Laying down the Framework for the Deployment of Intelligent Transport Systems in the Field of Road Transport and Their Interfaces with Other Transport Modes, Brussels

**Corwin, S.; Norton, R. (2010):** The Thought Leader Interview: Lawrence Burns, in: strategy+ business, Issue 60, Reprint 10307 (Booz & Company)

**Deiser, R. (2009):** Designing the Smart Organization, San Francisco, California (Jossey-Bass)

**Dinger, A. et al. (2010):** Batteries for Electric Cars, The Boston Consulting Group, elektronisch veröffentlicht: <http://www.bcg.com/documents/file36615.pdf> [Stand: 2011 02 15]

**Eurostat (2006):** Wie kompetent sind die Europäer im Umgang mit Computern und dem Internet?, elektronisch veröffentlicht: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_OFFPUB/KS-NP-06-017/DE/KS-NP-06-017-DE.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-NP-06-017/DE/KS-NP-06-017-DE.PDF) [Stand: 2009 06 25]

**Fachverband für Sensorik e. V. (2011):** Die Branche – Wirtschaftliche Bedeutung, elektronisch veröffentlicht: <http://www.ama-sensorik.de/site/de/289/wirtschaftliche-bedeutung.html> [Stand: 2011 02 15]

**Fraunhofer (2010):** Fraunhofer ESK: Garantierte Zuverlässigkeit für Softwarekomponenten, Projekt CHESS, elektronisch veröffentlicht: [http://www.esk.fraunhofer.de/content/dam/esk/de/documents/PDB\\_Chess\\_dt.pdf](http://www.esk.fraunhofer.de/content/dam/esk/de/documents/PDB_Chess_dt.pdf)

**Franz, A. (2003):** Management von Business Webs: das Beispiel von Technologieplattformen für mobile Dienste, Wiesbaden (Dt. Univ.-Verl.)

**Fitzgerald, M. (2010):** Automotive Sensor Demand Forecast 2008 to 2017

**Gao, P.; Wang, A.; Wu, A. (2008):** China Charges Up: The Electric Vehicle Opportunity, Shanghai (McKinsey & Company)

**Gläser, M. (2008):** Medienmanagement, München (Vahlen)

**Göschel, B. (2008):** Vortrag 16.06.2008, Ausgewählte Kapitel der Verbrennungskraftmaschinen, elektronisch veröffentlicht: [http://vkm-thd.tugraz.at/PDF/Goeschel\\_16062008.pdf](http://vkm-thd.tugraz.at/PDF/Goeschel_16062008.pdf)

**Gombert B. (2010):** Vom intelligenten Radlager zum „Robot Wheel“, aus: 09. Schaeffler Kolloquium 13./14.04.2010

**Häberle, S. G. (2008):** Das neue Lexikon der Betriebswirtschaftslehre, München [u.a.] (Oldenbourg)

**IEEE-SA Standards Board (2000):** IEEE Recommended Practice for Architectural Description of Software-Intensive Systems, IEEE Std., S. 1471–2000

- Intel:** Tera-scale Computing Architectural Overview, elektronisch veröffentlicht: <http://techresearch.intel.com/spaw2/uploads/files/terascalepop.html>
- International Telecommunication Union (2005):** The Internet of Things
- ISO,** International Organization for Standardization, Draft International Standard ISO/DIS 26262
- ISO/IEC 15288 (2002):** Systems Engineering: System Life Cycle Processes
- Jacobides, M. G.; Knudsen, T. R.; Augier, M. (2006):** Benefiting from Innovation: Value Creation, Value Appropriation and the Role of Industry Architectures, in: Research Policy, 35 (8), S. 1200–1221
- Joas et al. (2009):** Elektromobilität 2025, Oliver-Wyman-Studie
- Kampker, J. (2010):** Prof. Dr. Achim Kampker zur Zukunft der Elektromobilität, elektronisch veröffentlicht: <http://www.streetscooter.rwth-aachen.de/news/news/article/rwth-aachen-stellt-thesen-zur-zukunft-der-elektromobilitaet-auf/49/>
- Katzensteiner, T.; Rother, F. (2008):** Dem Elektroantrieb gehört die Zukunft, Wirtschaftswoche vom 03.07.2008
- Krauss, R. et al. (2010):** The Automotive Industry in Germany, Germany Trade and Invest, Gesellschaft für Außenwirtschaft und Standortmarketing mbH, elektronisch veröffentlicht: <http://www.german-business-portal.info/GBP/Redaktion/en/PDF/automotive-industry-in-germany-invest-in-germany,property=pdf,bereich=gbp,sprache=en,rwb=true.pdf> [Stand: 2011 02 15]
- Kruchten, P. (1995):** Architecture Blueprints – The „4+1“ View Model of Software Architecture, IEEE Software 12 (6), S. 42–50
- Karlöf, B. (2001):** Die Renaissance der Strategie, München (Hanser), S. 102–108
- Legler, H. et al. (2009):** Die Bedeutung der Automobilindustrie für die deutsche Volkswirtschaft im europäischen Kontext, elektronisch veröffentlicht: [ftp://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/AutomobEndBericht\\_final.pdf](ftp://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/AutomobEndBericht_final.pdf) [Stand 2011 02 15]
- Malorny, C. et al. (2009):** Der Trend zu energieeffizienten Pkw – Implikationen für die deutsche Automobilindustrie (McKinsey & Company)
- Matthies, G. et al. (2010):** Zum E-Auto gibt es keine Alternative, elektronisch veröffentlicht: [http://www.e-connected.at/userfiles/Bain%20Brief\\_Zum%20E-Auto%20gibt%20es%20keine%20Alternative\\_2010\\_Final.pdf](http://www.e-connected.at/userfiles/Bain%20Brief_Zum%20E-Auto%20gibt%20es%20keine%20Alternative_2010_Final.pdf) [Stand 2011 02 15]
- McKinsey & Company (2007):** Akzente 03/2007
- METI (2008):** Cool Earth Innovative Energy Technology Program, elektronisch veröffentlicht: <http://www.meti.go.jp/english/newtopics/data/pdf/031320CoolEarth.pdf>
- Mitchell, W.; Borroni-Bird, C.; Burns, L. (2010):** Reinventing the Automobile – Personal Urban Mobility for the 21st Century, Cambridge, Massachusetts (The MIT Press)
- Mol, J. M.; Wijnberg, N. M.; Carroll, C. (2005):** Value Chain Envy: Explaining New Entry and Vertical Integration in Popular Music, in: Journal of Management Studies, 42 (2), S. 251–276
- Naisbitt, J. (1982):** Megatrends. Ten New Directions Transforming Our Lives, Clayton VIC (Warner Books)
- North, D. C. (1990):** Institutions, Institutional Change and Economic Performance, Cambridge (Cambridge Univ. Press)
- NPE (2010):** Zwischenbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität, elektronisch veröffentlicht: [http://www.e-connected.at/userfiles/Bain%20Brief\\_Zum%20E-Auto%20gibt%20es%20keine%20Alternative\\_2010\\_Final.pdf](http://www.e-connected.at/userfiles/Bain%20Brief_Zum%20E-Auto%20gibt%20es%20keine%20Alternative_2010_Final.pdf)
- Parolini, C. (1999):** The Value Net: A Tool for Competitive Strategy, Chichester (John Wiley)

- The People's Government of the People's Republic of China (2009):** Automotive Industry Readjustment and Revitalization Plan, elektronisch veröffentlicht auf Chinesisch: [http://www.gov.cn/zwgk/2009-03/20/content\\_1264\\_324.htm](http://www.gov.cn/zwgk/2009-03/20/content_1264_324.htm), (Übersetzung ins Englische durch CBU)
- Picot, A.; Reichwald, R.; Wigand, R. (2008):** Information, Organization and Management, Berlin, Heidelberg, New York (Springer)
- Picot, A.; Schmid, M. S. (2006):** Wettbewerbsstrategien von Internet-TV-Plattformen und Business Webs, in: Information Management & Consulting, 21 (3), S. 30–40
- Picot, A.; Schmid, M. S.; Kempf, M. (2007):** Die Rekonfiguration der Wertschöpfungs-systeme im Medienbereich, in: Hess, T. (Hrsg.): Ubiquität, Interaktivität, Konvergenz und die Medienbranche, Göttingen (Universitätsverlag Göttingen), S. 205–257
- Pierre, P. (2010):** A Component-based Multi-Core Programming Environment, WFCO 2010
- Portail du Gouvernement (2010):** Le Pacte Automobile, elektronisch veröffentlicht: [http://www.elysee.fr/president/root/bank\\_objets/09.02.09-Dossier-de-presse-Pacte-auto.pdf](http://www.elysee.fr/president/root/bank_objets/09.02.09-Dossier-de-presse-Pacte-auto.pdf)
- Porter, M. (1980):** Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors, New York (Free Press)
- Porter, M. (1985):** Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance, New York (Free Press)
- Porter, M. (1986):** Competition in Global Industries, Boston, Massachusetts (HBS Press)
- Porter, M. (1990):** The Competitive Advantage of Nations, New York (Free Press)
- Porter, M. (2000):** Wettbewerbsvorteile (The Competitive Advantage of Nations), Frankfurt/New York (Campus)
- Prahalad, C. K.; Hamel, G. (1990):** The Core Competence of the Corporation, in: Harvard Business Review, May/June 1990, S. 79–91
- PRTM Management Consultants (2010):** Automotive Supplier Mergers & Acquisitions 2010
- Rabaey J.; Pederson, D. (2008):** A Brand New Wireless Day – What Does It Mean for Design Technology?, in: Ambient Society Symposium
- Roemer M.; Kramer A. (2010):** The Intelligent Car – Embedded Systems, a Success Story for the German Job Market, A. T. Kearney Study Overview
- Roland Berger, Lazard (2010):** Global Automotive Supplier Study 2010
- RWE (2008):** Marktwirtschaftliche Analysen für Plug-In-Hybrid Fahrzeugkonzepte. Studie des Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie und Institut für Hochspannungstechnik der RWTH Aachen im Auftrag der RWE Energy AG
- Schreyögg, G.; Kliesch, M. (2006):** Zur Dynamisierung Organisationaler Kompetenzen – „Dynamic Capabilities“ als Lösungsansatz?, in: zfbf, 58 (4), S. 455–476
- Schumpeter, J. (1942):** Capitalism, Socialism and Democracy, New York (Harper & Row)
- Schumpeter, J. (1993 [1934]):** Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung: Eine Untersuchung über Unternehmerrgewinn, Kapital, Kredit, Zins und den Konjunkturzyklus, Berlin (Duncker & Humblot)
- Sneed, H. M.; Baumgartner, M.; Seidl, R. (2008):** Der Systemtest: Von den Anforderungen zum Qualitätsnachweis, München (Hanser)
- Surges, H.; Moritz, A. (2008):** Automobilzulieferer Internationaler Performance-Index von Management Engineers und FHDW, elektronisch veröffentlicht: [http://www.managementengineers.com/fileadmin/assets/pdf/studien/FINAL\\_ME\\_FHDW\\_Die\\_Zukunft\\_der\\_Automobilzulieferindustrie\\_2009-11-25.pdf](http://www.managementengineers.com/fileadmin/assets/pdf/studien/FINAL_ME_FHDW_Die_Zukunft_der_Automobilzulieferindustrie_2009-11-25.pdf) [Stand: 2011 02 15]
- Teece, D. J.; Pisano, G. (1994):** The Dynamic Capabilities of Firms: an Introduction, in: Ind Corp Change, 3 (3), S. 537–556

- Teece, D. J.; Pisano, G.; Shuen, A. (1997):** Dynamic Capabilities and Strategic Management, in: Strategic Management Journal, 18 (7), S. 509–533
- Töpfer, A. (2005):** Betriebswirtschaftslehre: Anwendungs- und prozessorientierte Grundlagen, Berlin, Heidelberg, New York (Springer)
- U.S. Department of Energy (2010):** Advanced Vehicles Technology Manufacturing (AT VM) Loan Program, elektronisch veröffentlicht: [http://lpo.energy.gov/?page\\_id=43](http://lpo.energy.gov/?page_id=43)
- Utterback, J. (1994):** Mastering the Dynamics of Innovation, Boston (Harvard Business School Press)
- van Someren Taco, C. R. (2005):** Strategische Innovationen: So machen sie ihr Unternehmen einzigartig, Wiesbaden (Gabler), S. 57
- VDA (2010):** Jahreszahlen der Automobilindustrie, elektronisch veröffentlicht: <http://www.vda.de/de/zahlen/jahreszahlen/allgemeines/index.html> [Stand: 2010 12 07]
- VDE (2010):** Elektrofahrzeuge: Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf. Studie des Verbands der Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik e.V. (VDE), Frankfurt, April 2010
- Weber, H. K. (1993):** Wertschöpfungsrechnung, in: Wittmann, W.; Kern, W.; Köhler, R. et al. (Hrsg.): Handwörterbuch der Betriebswirtschaft, Teilband 3, R–Z, Stuttgart (Schäffer-Poeschel), S. 4659–4671
- West, J. (2003):** How Open Is Open Enough?: Melding Proprietary and Open Source Platform Strategies, in: Research Policy 32 (7), S. 1259–1285
- Weyrich, C. (2001):** Pictures of the Future – ein Verfahren, die Zukunft zu erfinden, in: Pictures of the Future Zeitschriften Herbst 2001, Siemens AG, S. 5
- Zerdick, A. et al. (2001):** Die Internet-Ökonomie, 3. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York (Springer)
- ZVEI (2009):** Nationale Roadmap Embedded Systems, Frankfurt (ZVEI Verlag), elektronisch veröffentlicht: [http://www.bitkom.org/files/documents/NRMES\\_2009\\_einseitig.pdf](http://www.bitkom.org/files/documents/NRMES_2009_einseitig.pdf)

---

## 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 Dörricht, 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 Hainzmaier, 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, Digitalog GmbH

### Bildnachweis Aufmachergrafiken

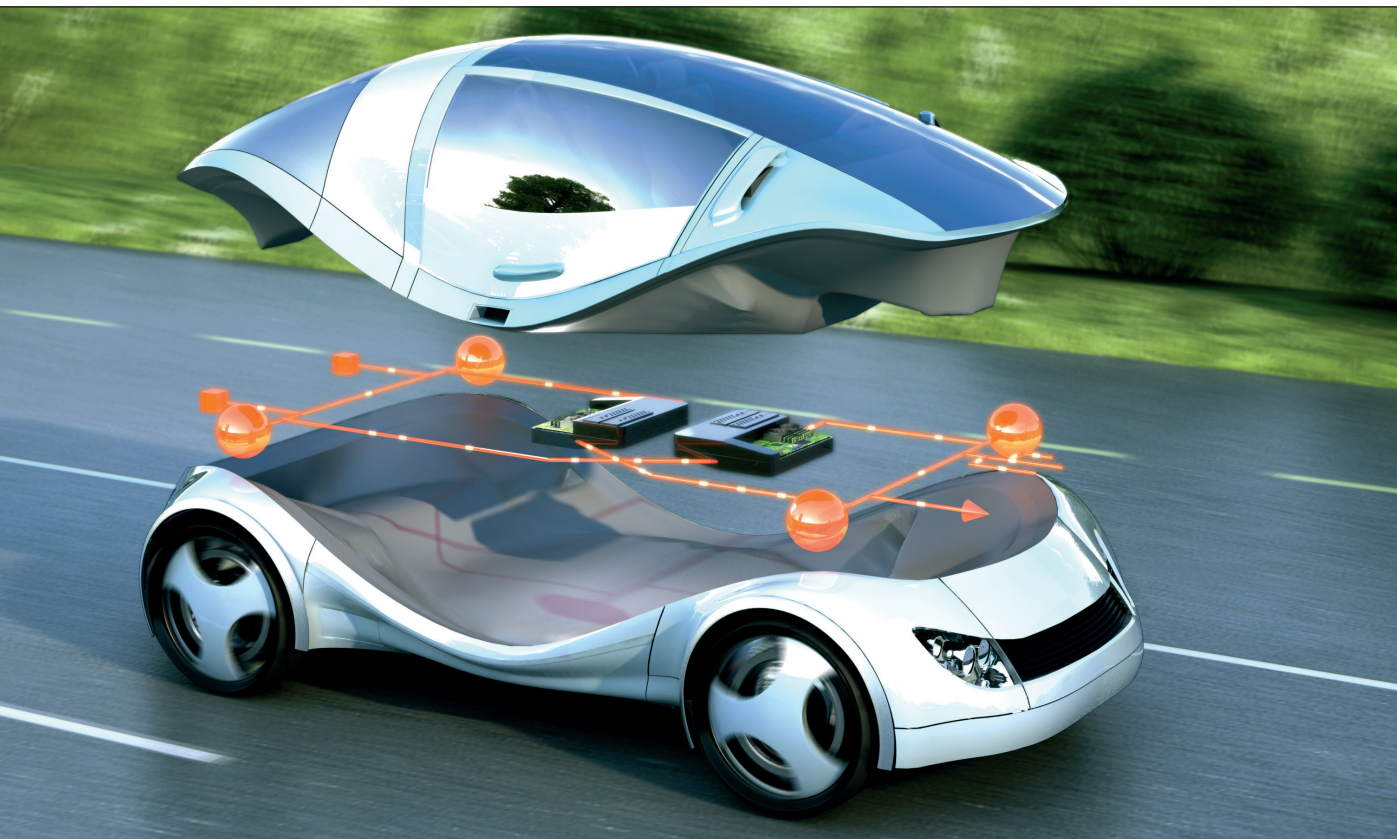
Fotolia: Phillip Minnis (S. 2), Reinobjektiv (S. 4),  
Olly (S. 16), Pixomar (S. 34), Wire\_man (S. 54),  
Shockfactor (S. 66), Endrille (S. 72),  
Suzannmeer (S. 86)

### Druck

van Acken Druck GmbH

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





# 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

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>IKT im Automobil heute</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>IKT im Automobil 2030</b>	<b>4</b>
	Gesellschaftliche Trends	4
	Technologische Trends	5
	Vergleich mit anderen Bereichen	5
	Szenarien für zukünftige Architekturen	6
<b>4</b>	<b>Veränderung in der Wertschöpfungsstruktur bis 2030</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Handlungsempfehlungen</b>	<b>9</b>
	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 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. 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

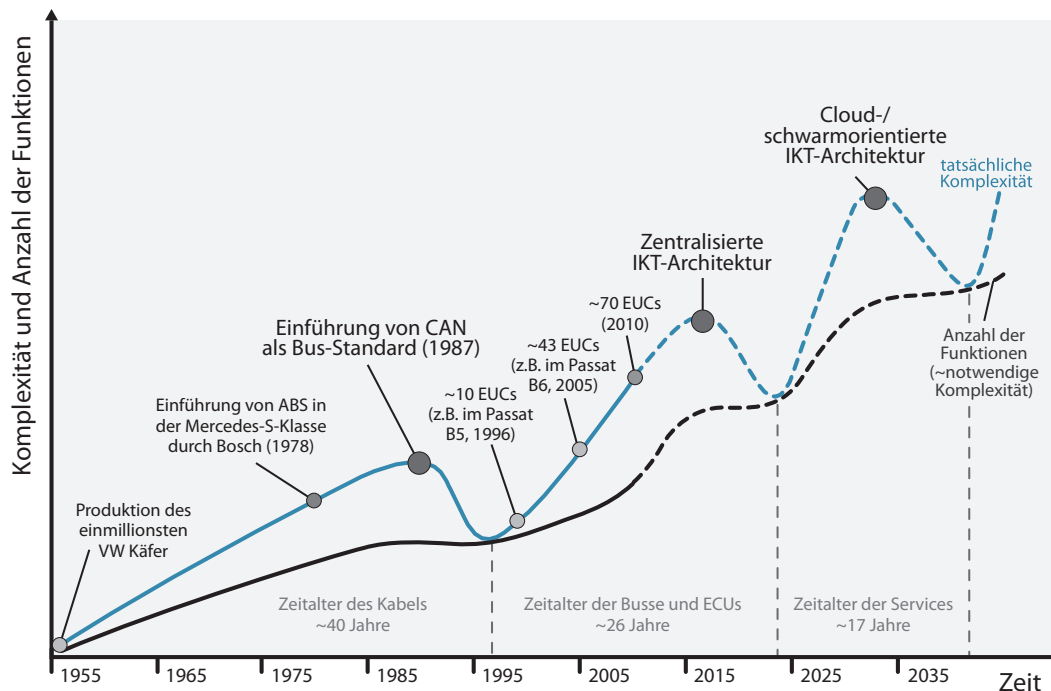
Bei der evolutionären Entwicklung von Fahrzeugarchitekturen lässt sich, wie in *Abbildung 1* dargestellt, der Trend beobachten, dass die Architektur tatsächlich deutlich komplexer ist, als es für den erreichten Zuwachs an Funktionen eigentlich notwendig wäre. Das führt zu dem Problem, dass die Integration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

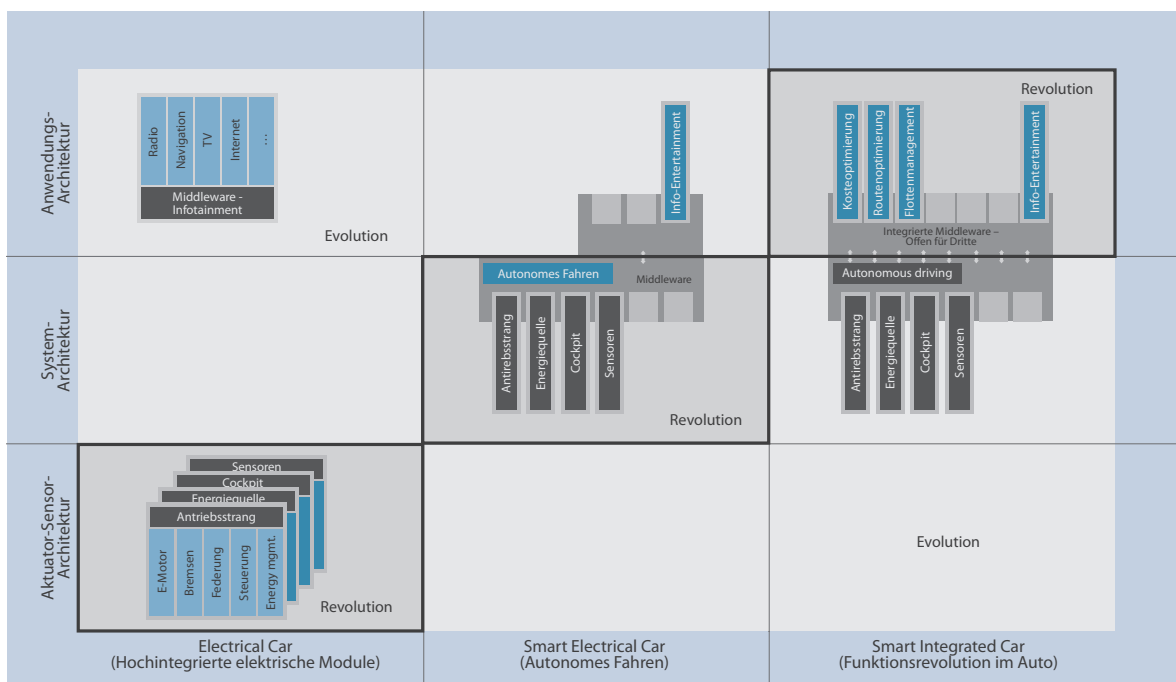
Dieses Szenario ist das wahrscheinlichste für neue Marktteilnehmer mit dem Fokus auf kostengüns-

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 vernünftigen 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.

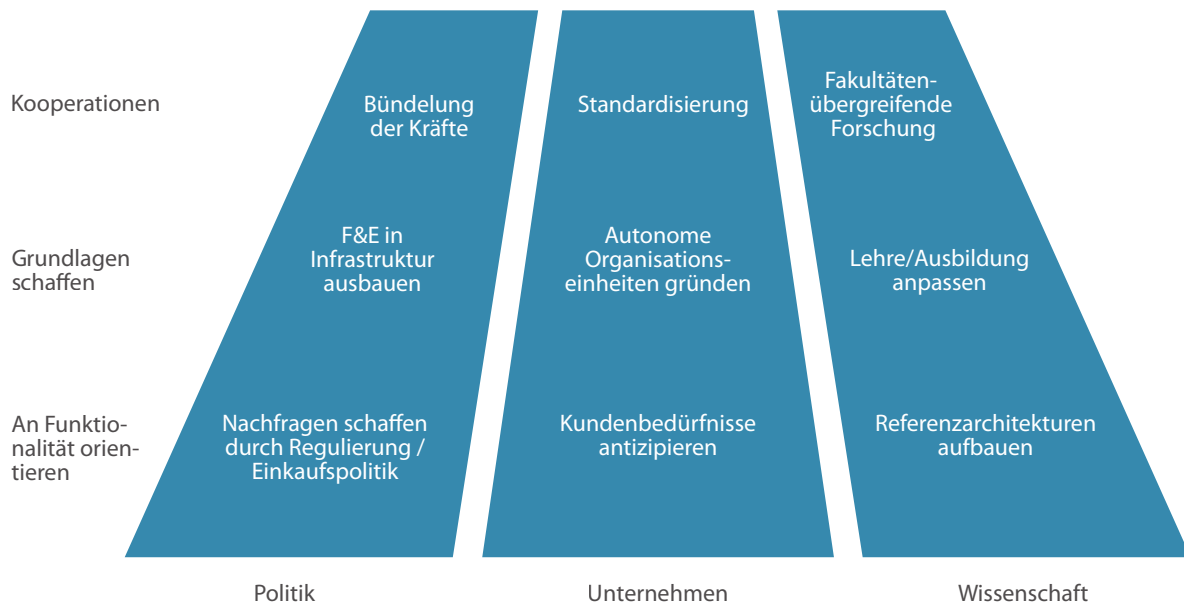
## 5 | Handlungsempfehlungen

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"> <li>● Regierung fördert Elektromobilität durch Stärkung von Bildung, Wissenschaft und Technologie sowie durch Regulierung und Gründung der „Nationalen Plattform Elektromobilität“ (NPE)</li> <li>● Hohes Bildungsniveau und Vernetzung zwischen Industrie und Wissenschaft gleichen Standortnachteile (hohe Löhne, kein Öl) aus</li> <li>● Gut positionierte und profitable Branchen (Auto, Energie, Chemie)</li> <li>● Starke Cluster (Metallverarbeitung, Maschinenbau, Optik, Sensorik)</li> <li>● Technologische Führung in Fahrzeugbau, Leichtmetallbau, E-Motoren, Fahrzeugelektronik, Sensorik, Mechatronik, Embedded Systems, Car-to-X, erneuerbare Energien</li> <li>● Sehr hohe Systemkompetenz</li> <li>● Anspruchsvolle Kunden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Unterschätzung der Relevanz von IKT</li> <li>● Unbefriedigende Kooperation zwischen Auto-, Energie- und IKT-Branchen</li> <li>● Große Linie fehlt – und damit Kriterien, Prioritäten und angemessene organisatorische Strukturen</li> <li>● Verschwendung von Ressourcen in unkoordinierten Aktivitäten</li> <li>● Mangelnde Transparenz – unzureichendes Wissensmanagement</li> <li>● Zögern und Zeitverlust („Paralyse durch Analyse“)</li> <li>● Sättigung und Trägheit durch hohen Wohlstand</li> <li>● NPE: spartenmäßig organisiert, dominiert von mächtigen Verbänden; die „Kleinen“ fehlen; keine Arbeitsgruppe für IKT; Kundensicht fehlt</li> </ul>
CHANCEN	RISIKEN
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Mobilitätsbedarf in reifen Industrienationen und Entwicklungsländern, vor allem „BRIC“-Staaten: Brasilien, Russland, Indien, China</li> <li>● Zunehmende Urbanisierung und Entstehung von Mega-Citys</li> <li>● Negative Nebenwirkungen des Autofahrens (Ölverbrauch, CO<sub>2</sub>-Emissionen, Unfälle, langsame Fortbewegung durch Staus) werden abgeschwächt</li> <li>● Konvergenz von Auto- und IKT-Industrie fördert wirtschaftliche Entwicklung</li> <li>● Neue IKT-Architektur fördert Innovation und Wachstum, senkt Komplexität und Kosten und erlaubt neue Funktionalität</li> <li>● Nachhaltige Mobilität: umwelt- und ressourcenschonend, sicher, mit neuen Anwendungen, kostengünstig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Aggressive Programme in mehreren Ländern (USA, China, Japan etc.)</li> <li>● Andere sind schneller bei der Entwicklung von Elektroauto und Mobility Internet</li> <li>● Fixierung der deutschen Autoindustrie auf Premiumsegment</li> <li>● Unterschätzung disruptiver Innovationen; neue Marktteilnehmer könnten Szenario „Low Cost/High Functionality“ verwirklichen</li> <li>● Elektromobilität wird nicht ganzheitlich betrachtet, sondern aufgeteilt in einzelne Technologien</li> <li>● Mangelndes Verständnis sich ändernder Kundenwünsche</li> <li>● IKT wirkt als Kostentreiber, falls alte Architektur weiterentwickelt wird</li> <li>● Schwächung der Autoindustrie im internationalen Vergleich würde deutsche Gesamtproduktivität und Lebensstandard beeinträchtigen</li> </ul>



**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)

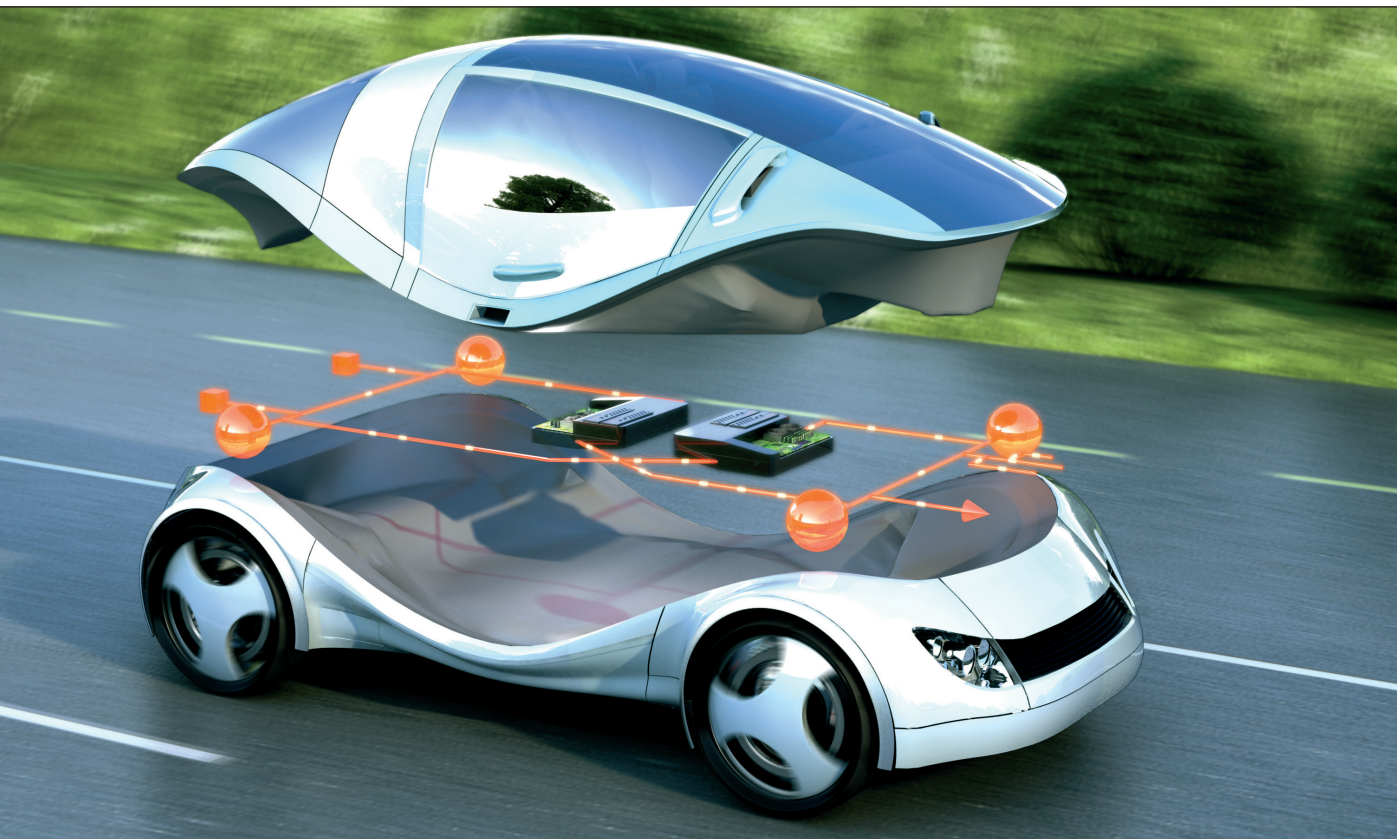
### Layout und Satz

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.



# The Software Car: Information and Communication Technology (ICT) as an Engine for the Electromobility of the Future



Summary of results of the  
"eCar ICT System Architecture  
for Electromobility" research  
project sponsored by the  
Federal Ministry of Economics  
and Technology

# Content

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ICT in today's automobile</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>ICT in the car of 2030</b>	<b>5</b>
	Societal trends	5
	Technological trends	5
	Comparison with other sectors	5
	Scenarios for future architectures	6
<b>4</b>	<b>Change in the value chain to 2030</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Recommendations for action</b>	<b>9</b>
	Recommendations to government	10
	Recommendations to companies	11
	Recommendations to education, research and science	11

# 1 | Introduction

Disruptive technologies have the potential to change markets dramatically. In such a situation, market dominance can be achieved particularly by companies that have newly entered the market or that cut themselves free from traditional structures and implement major innovations without hesitation. Electromobility is such a disruptive change. But electric drives for cars are only the catalyst for the real change: most significantly, the architecture and role of information and communication technology (ICT architecture) will change for the vehicle of the future. ICT is growing increasingly important and will come to drive developments itself.

ICT, in the form of electrics and electronics in cars (automotive E/E), is already essential to the competitiveness of the German automotive industry. Its most notable effects are to improve driving performance and comfort, and to enhance both passive and active safety. But the effects go further in electric vehicles. Here ICT becomes the foundation of the driving functions themselves. For that reason, architectures and technologies for vehicle ICT cannot be viewed merely as a frame for gradual evolutionary innovations, as they were before. Instead, they must be revised so far-sightedly that they can perform their indispensable future role in the revolutionary evolution of the automobile.

Electromobility has a double impact. First, it necessitates a new ICT architecture in cars. But at the same time it opens up the opportunity for such a revolutionary architecture for the first time. It shifts the necessary core competences, lowers barriers to market entry, and thus changes the market's rules of the game. With a new ICT architecture, a newcomer can rise more easily from the low-cost to the premium segment of electromobility than a business in the premium segment can switch from conventional non-electromobility ICT architecture to the future architecture that includes electromobility. Consequently new competitors have a chance to penetrate into established, saturated markets.

The importance of future ICT architecture goes far beyond the change to electromobility. For historical reasons, the conventional architecture is highly complex. For that reason, it is more and more becoming an im-

pediment to innovation, instead of an innovation driver. By contrast, a new architecture will make new approaches and functions possible – from greater autonomy in driving to a fuller integration of the vehicle into the ICT infrastructure – and thus help significantly to achieve sociopolitical goals like energy efficiency or lower accident rates.

Electromobility will make information and communication technology in cars much more important. That will have far-reaching effects on Germany as a business location. Skills and competences will shift, and structures for adding value will change. No doubt there will also inevitably be a certain amount of self-cannibalization within the automotive industry. For that reason, business, science and education, together with government, must cooperate in a concerted action to safeguard Germany's competitiveness in one of its core industries.

This document is a summary of the results of the “eCar ICT System Architecture for Electromobility” research project sponsored by the Federal Ministry of Economics and Technology. It describes the role of ICT architecture in a vehicle within the context of electromobility. It names the main societal and technological driving forces, and on that basis points out scenarios for electric vehicles and features of future ICT architectures. It also discusses the resulting changes in the value chain in the automotive sector. Based on all results, the strengths, weaknesses, opportunities and threats are listed (SWOT analysis), with consequent recommendations for action in government, industry and science.

The full report of results is available at <http://www.fortiss.org/ikt2030/>



## 2 | ICT in today's automobile

Over the past 30 years, ICT – in other words, electronic control devices, including the associated software – has made significant innovations in automotive construction possible: from the anti-lock braking system in 1978 to electronic stability control in 1995 and emergency brake assist in 2010. In total, according to current estimates ICT contributes some 30 to 40 percent of total value added in automotive construction. At the same time, ICT architecture has also become more complex, and in multiple ways: because of the technologies employed, in terms of the functions performed, and in regard to the supply chain. Accordingly, ICT, and especially its software, has expanded significantly, from about 100 lines of program code (lines of code, LOC) in the 1970s to as much as ten million LOC.

The ICT infrastructure in an automobile of today – a combination of embedded functions and infotainment systems – has become a major prerequisite for optimized use and comfort. It plays a significant role in up to 80 percent of all innovations in the premium automotive segment, whether in engine control and electronic stability control or in driver assistance. Additionally, regulatory requirements to reduce emissions and accidents would be inconceivable without ICT.

Nevertheless, the use of ICT lags well behind the technical possibilities. Safety is achieved mainly by passive safety measures; proactive safety functions (such as emergency brake assist) that make heavy de-

mands on ICT are treated with great wariness. “Drive-by-wire” – in other words, steering vehicles without mechanical steering mechanisms – is also being pursued only hesitantly, because its associated requirements for the reliability of ICT. In other areas as well that offer great potential to help products stand apart from the crowd, such as infotainment or telematics, ICT architecture in cars has not been keeping pace with developments in other sectors.

The discrepancy between the role of ICT as an “enabling technology” and inhibitions about innovation is based mainly in the characteristics of today's ICT. Today, German premium vehicles have some 70 to 100 control devices. These are often developed for a problem-specific use, as structural units in control devices with associated sensors and actuators. The control devices are networked by way of a highly complex tree of cables, using multiple bus systems – for example, for the engine chamber, chassis, passenger compartment and infotainment – as well as different communication protocols, including LIN, CAN, FlexRay and MOST. The ICT architecture in vehicles today is molded by the car makers and their suppliers, rather than by its functionality.

Decades of evolution in ICT architecture that have neglected to revise it fundamentally, and thus to adapt it to its importance today, have had an unfortunate effect. The result has been that in today's vehicles, ICT architecture is increasingly becoming a barrier to innovation.

## 3 | ICT in the car of 2030

Various trends affect the ICT architecture in a vehicle, and result in changes. In this project, societal and technological trends were studied, along with changes in industries related to the automotive sector. Based on these results, a potential development of the architecture was then laid out.

### Societal trends

Individual mobility is driven primarily by two trends: the growing mobilization of the population in developing countries, and the waning importance of cars as a status symbol in developed countries. In developing countries, economical, thrifty vehicles are in demand that encourage the transition from motorcycles to cars. Since cars are less important as status symbols in developed countries than they used to be, similar vehicles are needed here, especially for urban residents and the growing group of aging singles. Driving is becoming less important as a function, while the real added value derives from customizing a car and fitting it into a larger context. Passengers want to travel economically, while at the same time enjoying comfort and convenience functions like a link to the Internet.

In essence, this results in a demand for economical, accident-free vehicles that can be individually customized to suit the driver and have sufficient driving range. As the report makes clear, a suitable ICT architecture offers a basis for meeting these requirements. Replacing mechanical and hydraulic components with electronic ones (such as “X by wire”) reduces vehicle weight and increases range. It also eliminates high-cost components. Suitable middleware architectures make it possible to configure and upload functions that offer customers added value. On top of that, active safety functions will become established that drastically reduce the probability of an accident.

### Technological trends

In technology, there is a trend toward greater miniaturization and toward developing intelligent modules. Highly integrated mechatronic components are evol-

ving that can be integrated into vehicles by way of a data interface. Sensors and actuators are becoming more intelligent and more and more capable of universal use, including for pre-processing and simple adjustment tasks. One example is “software-defined radio” (SDR). Semiconductor, memory and communications technologies are offering substantial increases in performance at declining prices. In software technology, an intermeshing of concepts from safety-critical embedded systems and Internet technology is becoming evident, especially in middleware.

Societal trends make it necessary to fundamentally rethink ICT architecture. The analysis showed that the necessary technologies will be available by no later than 2030. Highly integrated mechatronic components are reinforcing the trend toward X-by-wire architectures. Additionally, integration can take place at a higher logical level, through the introduction of middleware architectures and by encapsulating the above mechatronic modules. Components to merge sensor data will become important elements of middleware architectures, as will a component that ensures that safety-critical functions are separated from non-critical ones, so that they can be performed on a single computer without interfering with one another. This in turn will result in a centralization of computers in a car, similarly to server technology.

### Comparison with other sectors

Architectures have changed fundamentally in other regions of technology as well. In the late 1970s, solutions in industrial controls and PCs proved that modular hardware and standard operating systems can make lasting changes in industries. Open standards encouraged innovations in hardware and software applications. Economies of scale in production, with the associated cost reductions in modular hardware, made PCs attractive to end users.

In the 1990s, a new architecture was introduced in aviation, because of problems very similar to those in the automotive sector today. “Integrated modular avionics” (IMA) showed that a new architecture can help reduce complexity and create a viable basis for the future. Important concepts like centralizing and

virtualizing computer architecture, local data concentrators, and X by wire can be adopted and adapted to the needs of automotive construction.

Robotics may also be of interest for a reorientation of ICT architecture in the automotive industry. The logical architecture for controlling humanoid robots, with its division into environmental perception, planning and action, can particularly serve as a model for a logical architecture in the automotive industry. Important concepts from middleware architectures in robotics may also be of interest for the automotive sector.

### Scenarios for future architectures

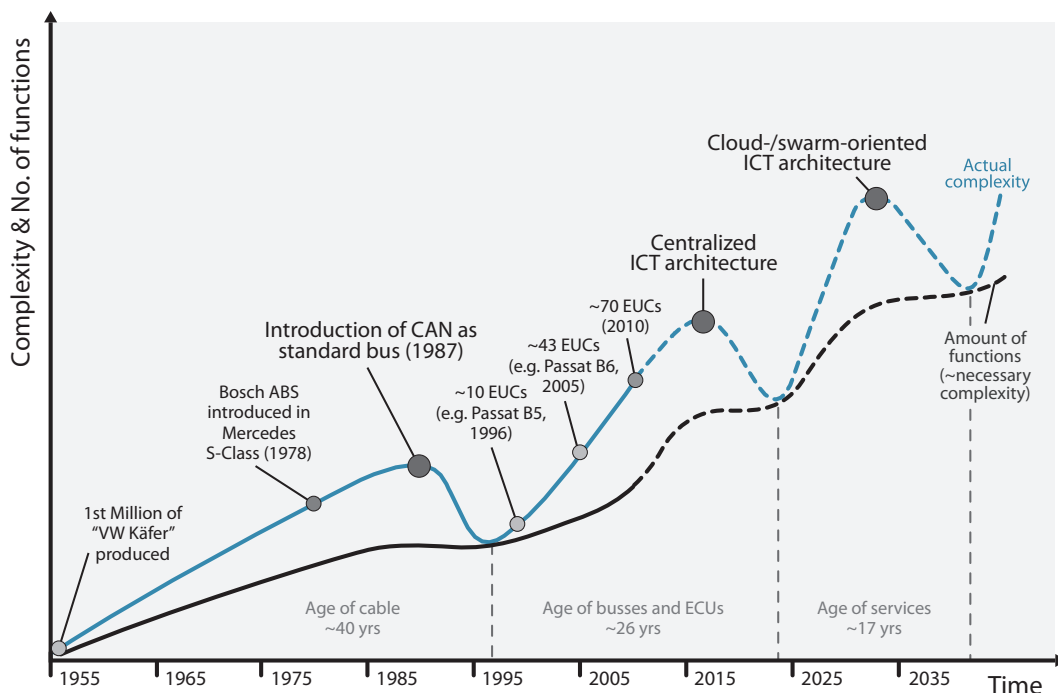
In the evolutionary development of vehicle architectures, as *Figure 1* shows, there is an evident trend for the architecture actually to become much more complex than would really be necessary for the achieved gain in functionality. This results in the problem that new functions become more and more expensive to integrate, and the innovation trend therefore flags. Only a substantial revision of the ar-

chitecture and a technology leap can bring the actual complexity back down to only the necessary level. In substance, the level of abstraction at which new functions are integrated must rise. For that purpose, part of the platform must be virtualized. The virtualized platform will become a standard component – a commodity – and the complexity and price of that platform will shrink.

This process has already been observed in the automotive industry in the past. To reduce emissions and improve comfort, in the 1980s it was necessary to use microcontrollers more widely. Complexity relatively quickly became a big problem, because it was almost impossible to cable all these electronics modules together. A solution came from communications busses like the CAN bus; they virtualized the physical connection – in this case, the cable. It thus became significantly easier to introduce new functions, because integration no longer had to take place at the cable level, but only at the information level.

Today’s ICT architecture again faces similar problems, but in this case because of the large number of control devices. A new, centralized electric/electronics architecture, with a base middleware, analo-

**Figure 1: Evolution of complexity**



gous to the IMA in avionics, could reduce actual complexity. New functions would then be integrated not in the form of control devices, but as software. The third step, finally, would be a further virtualization of the necessary total system of hardware and software (the hardware/software stack) into a service-oriented architecture. The underlying execution platform, composed of control devices and busses, would be entirely virtualized by middleware. The middleware would also implement non-function features, such as error tolerance. Then it would be possible to distribute functions as desired, even outside the vehicle; the car would thus become part of a larger system.

As Figure 2 shows, ICT architecture could thus develop in three steps. In a first step, which is already going on today, IT modules are integrated and encapsulated at a high level. In the second step, the ICT architecture could be reorganized with reference to all functions relevant to the vehicle. And finally, a middleware that integrates both the functions relevant to driving and the non-safety-critical functions for comfort and entertainment would make it possible to customize vehicles for their drivers by way of third-party software.

Based on these observations, the report identifies three different scenarios for how the automotive industry could manage the upcoming changes:

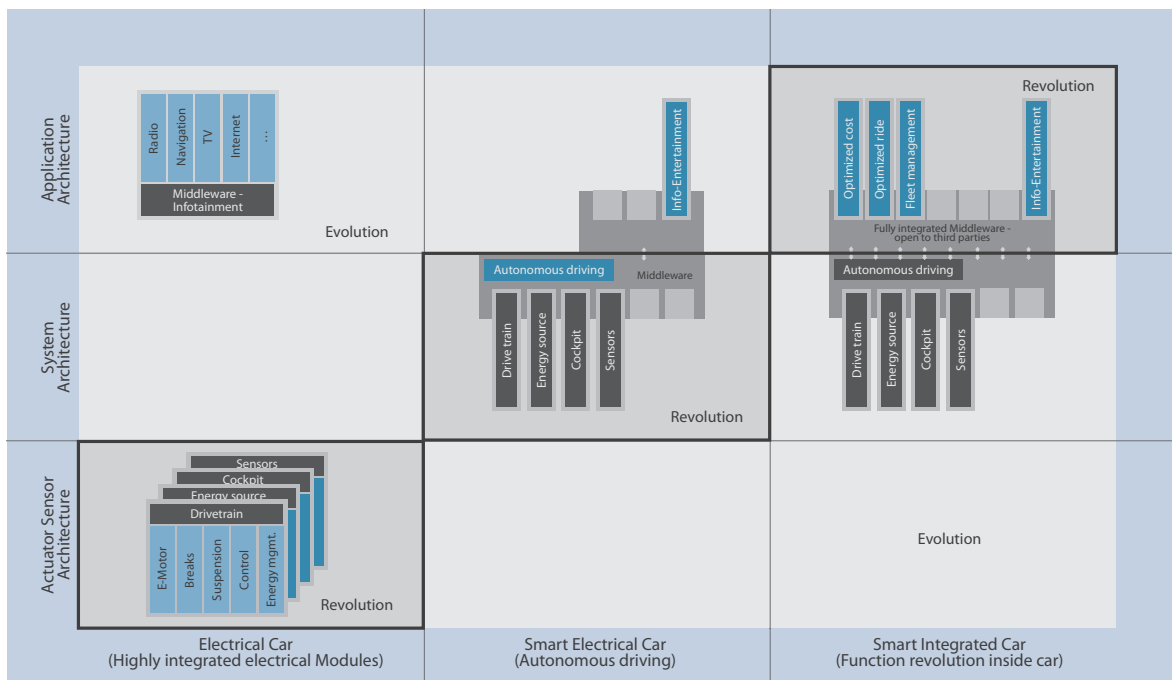
### 1. Low Function/Low Cost for 2020

This scenario is the most probable for new market participants focusing on low-cost vehicles. The vehicles' functionality and customers' expectations about comfort and reliability are relatively low. The scenario is well suited for introducing a revised, simplified ICT architecture that includes a drive-by-wire approach; actuator components are connected directly to the power electronics and the ICT. In that way, actuators can draw energy locally and be triggered via software protocols, reducing the amount of cabling and the number of control devices.

### 2. High Function/Low Cost for 2030

The considerations behind this scenario are based on a further development of the revolutionary approach to ICT architecture that was described in the "Low Function/Low Cost" scenario above. ICT has been optimized over the years and is now very reliable, so that even customers with high expectations buy this kind of vehicle. This trend is

**Figure 2: Evolution of ICT architecture**



reinforced by the ability to integrate new functions easily into vehicles, and to customize them.

### 3. High Function/High Cost

This scenario addresses electric cars in 2020 whose architecture concept builds very largely on what is already known from conventional internal-combustion-engine vehicles. What is primarily electrified is the drive train; the existing ICT architecture is still used with no developmental advances.

Higher-value functions with a substantial need for cooperation, such as energy management, can be achieved only at great expense, since there is little provision for interaction and coordination among vehicle components. Especially with regard to the adaptability and driving autonomy requirements expected for 2030, this scenario will prove to be a dead end, because the complexity of the system means that fundamentally new functions will hardly be integrable at reasonable expense.

## 4 | Change in the value chain to 2030

The largest direct changes in value chains will result from the introduction of a new ICT architecture and from the electrification of the drive train with the associated use of new key components like batteries, power electronics and electric engines.

The most obvious point is the electrification of the drive train. Here the core competences that auto makers have built up in all aspects of internal-combustion engines will rapidly lose value. Additional skills are needed, which in many cases only new suppliers entering the market can provide. Access to batteries and electric engines is crucial to the OEMs' success, but it will remain exceptional for them to take on this stage of the value chain themselves.

In vehicle ICT, the necessary standardization of control devices will lead to increasing competition among the makers of those devices. Addition of value in computer technology will shift from direct suppliers (tier 1) to ICT providers in tier 2. These will no longer supply individual components, but standardized control devices. There is an acute risk that this sub-function in the value chain will no longer be feasible within Germany, because there is intense competition from other countries, and currently there are only a few German tier 2 providers for the computer technology of a new ICT architecture. In mechatronic modules, a high level of integration of mechanics, sensors, and actuators can be expected. German suppliers are the world leaders in this field, and have a chance to expand their market shares. In software, uncoupling hardware specifics from one another will make it possible for the various application areas to interact at the software level.

This opens up the leeway to design new, entirely software-based applications. At the same time, the market will open up to software providers outside the industry. To stand out from the competition, OEMs might once again develop more functions themselves. Thus the supplier industry will come under pressure from two directions here.

In quality assurance, the OEMs have strong skills. For that reason, this function can serve as a barrier to entry. New kinds of ICT systems will initially pose a challenge for quality assurance, but over the long term QA can be automated and optimized via ICT.

In addition to these direct influences on vehicle production, the introduction of a new ICT architecture will also entail important indirect changes. These will concern functions that will follow after the value chain in vehicle delivery, particularly including mobility services that can be offered to the end user in place of a personal vehicle. Here various business models are conceivable that range from simple car sharing to intermodal mobility services with an individually optimized mix of means of transportation. In this context, the OEMs will come into direct competition with established mobility providers (such as railways, rental cars) and new companies.

The after-sales segment in the vehicle business will also gain in importance, since the new ICT architecture will make many vehicle functions more easily upgradable or customizable. In the simplest case this can be done merely at the software level, through upgrades or apps. Since electric vehicles are less maintenance-intensive, this segment will be especially im-



portant in compensating for the income from maintenance work on internal-combustion vehicles, which will now be lost.

All in all it must be borne in mind that the existing market structure will come under pressure from the arrival of companies that have until now been strangers to the industry. In some cases this may even be the case as early as vehicle conception and design; it must increasingly be expected in the area of drive

trains and ICT components, and as already described above, it will end with mobility services.

The German automotive industry is encouraged to build up the skills it lacks for the new market conditions, or to tap them through acquisitions or cooperative ventures, and to take advantage of the potential of the new ICT architecture, so as to avoid being overtaken by foreign competitors.

## 5 | Recommendations for action

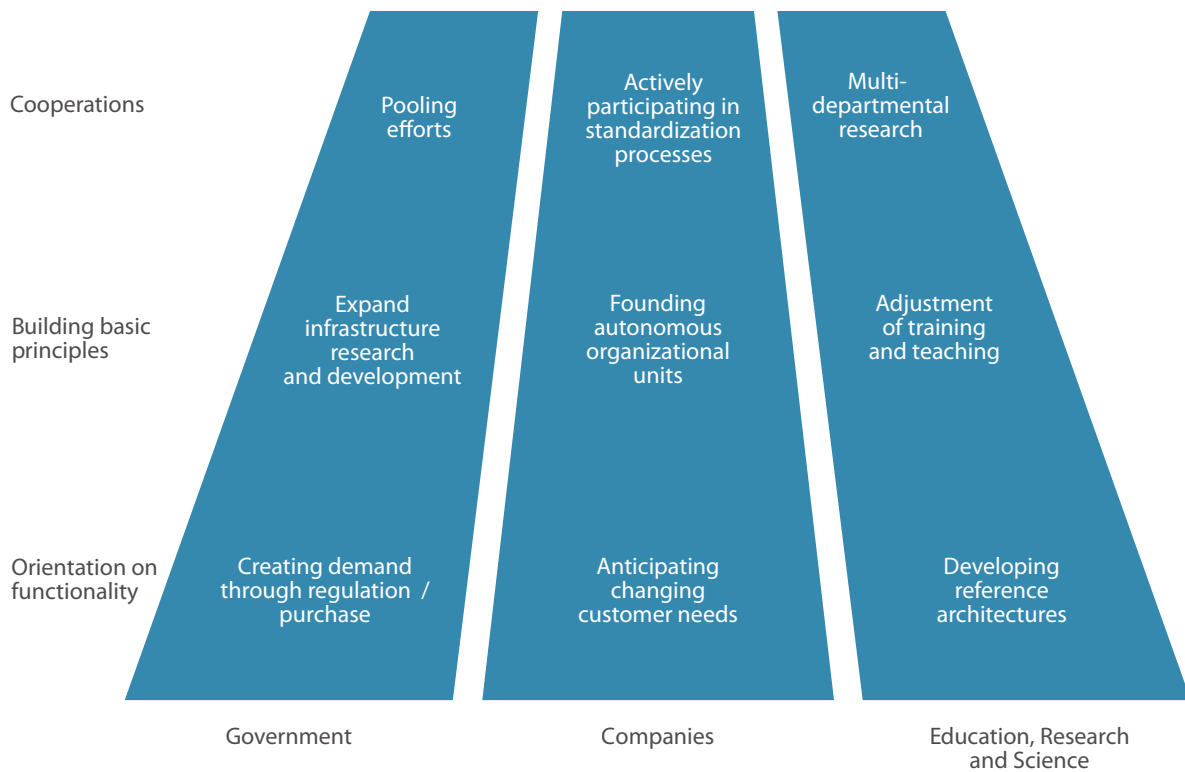
By 2020 and beyond, Germany is expected to become a leading market and a leading provider of electromobility, and to secure a long-term competitive advantage for itself. This challenge has been described in a SWOT analysis (Figure 3). Here the aim is for the automotive industry and the energy industry – and thus Germany as a business location as a whole – to stand out from the

international competition through intelligent networking via ICT. These goals call for concentrated, concerted action among government, business, and science.

Figure 4 provides an overview of the main recommendations for action that were developed on the basis of the scenarios, changes in the value networks, and interviews.

**Figure 3: SWOT Analysis**

STRENGTHS	WEAKNESSES
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Government encourages innovation by reinforcing training, science &amp; technology, through regulations &amp; by founding NPE</li> <li>● Creativity compensates for site disadvantages (high wages, no oil)</li> <li>● Well-positioned, profitable industries (automotive, energy, chemicals)</li> <li>● Strong clusters (metalworking, machine construction, optics, sensor engineering)</li> <li>● Technological leadership in automotive construction, lightweight metal construction, e-engines, vehicle electronics, sensor engineering, mechatronics, embedded systems, car-to-X, renewable energy sources</li> <li>● Very high systems competence</li> <li>● Demanding customers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Underestimation of relevance of ICT</li> <li>● Unsatisfactory cooperation between automotive, energy and ICT industries</li> <li>● Lack of criteria, priorities, organizational structures</li> <li>● Resources squandered in uncoordinated activities</li> <li>● Lack of transparency – inadequate knowledge management</li> <li>● Hesitation and loss of time (“paralysis through analysis”)</li> <li>● Satiation and inertia due to high level of prosperity</li> <li>● NPE: organized by industry, dominated by powerful associations; “small” players missing; no task force for ICT; customer’s perspective missing</li> </ul>
OPPORTUNITIES	RISKS
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Need for mobility in mature industrialized nations and developing countries, especially BRIC (Brazil, Russia, India, China)</li> <li>● Urbanization, mega-cities</li> <li>● Mitigate adverse side effects of driving (oil consumption, CO<sub>2</sub> emissions, accidents, slow-moving traffic jams). Reduction of traffic jams; greater traffic safety</li> <li>● Convergence of automotive and ICT industry encourages economic development</li> <li>● ICT encourages innovation and growth, reduces complexity and costs. New architecture expands functionality</li> <li>● Sustainable mobility: easy on environment and resources, reliable, with new applications, economical</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Aggressive programs in multiple countries (USA, PRC, Japan, etc.)</li> <li>● Others are faster in developing e-cars and mobility Internet</li> <li>● German car industry fixated on premium segment</li> <li>● Underestimation/ignorance of disruptive innovations; new market participants might carry out “Low Cost/High Functionality” scenario</li> <li>● Electromobility not viewed as a whole, but as individual technologies</li> <li>● Lack of understanding of customer desires</li> <li>● ICT drives up costs if old architecture is developed further</li> <li>● Weakening of automotive industry in international comparison would adversely impact overall productivity and standard of living in Germany.</li> </ul>



**Figure 4: Overview of main recommendations for action**

## Recommendations to government

Government can accelerate the change toward a viable future ICT architecture through regulation, public purchasing policy, a pooling of all efforts, and an expansion of infrastructure.

### Creating demand

Government can stimulate demand through regulation, but also set a good example by converting public fleets. To achieve the above goals, the government should generate a maximum demand for functionality through astute regulation. In this way it might stimulate industry, suppliers and demand, all at the same time, so as to initiate a change in ICT architecture and raise the barriers to entry. Additionally, federal, state and local governments should provide opportunities to experience electric cars first-hand, and ensure that the public is aware of them. One possibility would be to convert government fleets to electromobility: for example, Germany has more than 120,000 municipal delivery and service vehicles.

### Expand infrastructure research and development

An especially important and urgent need is political initiatives, investment and legislative action regarding the infrastructures and standards needed for mature electromobility. Here, research in ICT for electromobility must especially be promoted. In addition to the feasibility of ICT for a future “smart car,” the focus should especially be on networking with the energy industry (smart grid), and traffic infrastructure (smart traffic). Here ICT will play a key role as the multi-system driver for the interaction between smart cars, smart grid and smart traffic.

### Pooling efforts

Not until all efforts in government and business have been pooled – for example by promoting cooperative ventures or by companies’ participating in standardization processes – will Germany be able to unfold its full potential in regard to the above changes. Most partners interviewed in the project recommend setting up a special organizational unit for the next decade to coordinate or guide all initiatives in

connection with electromobility. One of its key competences will be the opportunity for all industries and all social groups to collaborate.

## Recommendations to companies

Companies must steadily enhance their competitiveness through continuous improvement, innovation and change. Of course, competitiveness often presupposes painful change, and sometimes even “creative destruction.”

### Anticipating changing customer needs

Companies should be especially concerned with the needs of customers who do not own a car yet, or who are oversupplied. In electric vehicles, German industry is concentrating especially heavily on high-cost market segments, such as sports cars. But many experts believe the low-cost segment is better suited for gathering initial experiences with electromobility. Market watchers encourage makers of premium vehicles first to develop and sell inexpensive vehicles through autonomous companies, so as not to affect their traditional brand image. But anticipating changing customer needs also means considering not just the vehicle alone, but innovative business models.

### Founding autonomous organizational units

An autonomous organization whose resources, processes and values are focused entirely on electromobility, and whose cost structure makes a profitable business possible, is the right answer to the disruptive challenge. In such an organization, the best employees could concentrate on electric cars, instead of constantly being diverted from their work on conventional technology that is still accepted in the market. Though companies should start small in such spin-offs to develop electromobility, they should not by any means hesitate. This is especially important because many advantages of electromobility can be realized only with a significantly altered ICT architecture, which is unlikely to be possible in established companies.

### Actively participating in standardization processes

Standardization is undoubtedly becoming more and more important for market success. Here European companies' role specifically in ICT will be watched closely and critically by experts who have noted a withdrawal of European companies from standardization

bodies. They fear that that future standards will be set mainly in America and Asia. For that reason, German companies should participate more extensively again in standardizing processes, and thus ensure that they can offer products that meet standards at an early stage.

## Recommendations to education, research and science

Education, research and science are encouraged to provide methods, technologies and skilled workers to develop electromobility. Research results must be processed for transfer to industrial applications, and companies must be helped to achieve their goals within the terms set by the government.

### Building up reference architecture

To promote cooperation between research and industry and to transfer the state of the art in electromobility to companies, development of reference architectures should be encouraged. Here a close interaction should be sought with the federal government's research and development activities to build up ICT infrastructures. The development of reference architectures should especially focus on autonomous driving, X-by-wire steering, openness and expandability, as well as integration of the vehicle into the environment. So that the low-price segment can be served as well, components that will be inexpensively available by 2030 should be used to build up the new architectures.

### Adjustment of training and teaching

University-level institutions must focus their pertinent courses of study more extensively on electromobility, bearing in mind that demands upon engineers will rise because they will have to deal with much more complex systems in the future. Disciplines like electrical engineering, computer engineering, and microsystems technology must evolve further, especially in regard to interdisciplinary fields like mechatronics. The possibility of establishing new, multi-departmental courses of study should be considered.

### Multi-departmental research

Many of the relevant research topics are on interdisciplinary issues that can be resolved only with a multi-departmental approach. That includes new fields like cyber-physical systems and mobility Internet, but also established areas like sensor engineering, embedded systems, functional safety and data security, as well as cognitive systems and architectures.

---

## Production information

### Publisher

ForTISS GmbH  
Dr. Harald Ruess  
Boltzmannstrasse 3  
85748 Garching

Commercial Register 176633  
Tax ID 143/237/25900

### Authors

Manuel Bernard, ESG GmbH  
Dr. Christian Buckl, ForTISS  
Volkmar Dörricht, 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 Patzlaff, ESG GmbH  
Bettina Cassandra Riedl, LMU München  
Dr. Bernhard Schätz, ForTISS  
Christian Stanek, Siemens AG

### Assisted by

Stefan Bures, LMU München  
Alexander Camek, ForTISS  
Dr. Hieronymus Fischer, ESG GmbH  
Mario Gleirscher, TU München  
Georg Gut, ForTISS  
Andre Hainzmaier, 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

### Steering committee

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

### Editorial preparation

Heise Business Services,  
Heinrich Seeger (independent  
contractor), Britta Mümmeler (copy  
editing, independent contractor)

### Layout and typesetting

stroemung GmbH, Digitalog GmbH

### Printing

van Acken Druck GmbH

All rights reserved. Any duplication or  
redistribution as a whole or in parts requires  
written permission.