

Roadmap 2015 – 2030

Automotive Roadmap
**EMBEDDED
SYSTEMS**



Eingebettete Systeme in der Automobilindustrie

IMPRESSUM

Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)

Wissenschaftszentrum
Ahrstraße 45
53175 Bonn

Tel.: +49-(0)228-302 145
Fax: +49-(0)228-302 167
E-Mail: info@gi-ev.de
Website: www.gi.de

SafeTRANS e.V.

Escherweg 2
26121 Oldenburg

Tel.: +49-(0)441 / 9722 540
Fax: +49-(0)441 / 9722 502
E-Mail: info@safetrans-de.org
Website: www.safetrans-de.org

Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA)

Behrenstr. 35
10117 Berlin
Tel.: +49 30 897842-0
Fax: +49 30 897842-600

E-Mail: info@vda.de
Website: www.vda.de
Twitter: [@VDA_online](https://twitter.com/VDA_online)

Design: DIE ALCHEMISTEN AG, Oldenburg, www.alchemisten.de

Fotonachweis: Shutterstock, Fotolia

Datum: 21.09.2015

Roadmap 2015 – 2030



VDA

Verband der
Automobilindustrie

Eingebettete Systeme in der Automobilindustrie

INHALT

1	Zusammenfassung	6
2	Einleitung	7
3	Anwendungskontext und Inhalte	8
	4.1 Wandel in Gesellschaft und Markt	9
	4.1.1 Mobilität	9
4	Trends und Möglichkeiten	9
	4.1.2 Globalisierung	12
	4.1.3 Urbanisierung	14
	4.1.4 Umweltbewusstsein und Klimawandel	16
	4.1.5 Umgang mit beschränkten Ressourcen	18
	4.1.6 Digital Society	19
	4.1.7 Demografischer Wandel	20
	4.2 Entwicklungen und Trends in Industrie und Wissenschaft	22
	4.2.1 Beherrschung (neuer) Funktionalitäten und Technologien	22
	4.2.2 Nach Verkauf / Im Feld	25
	4.2.3 Standards und Standardisierungen	26
	4.2.4 Entwicklungsprozess	28
	4.2.5 Zulieferketten	31
5	Szenarien einer zukünftigen Mobilität	34
	5.1 Szenario 1: Der Mensch im Mittelpunkt	35
	5.2 Szenario 2: Zero Accidents (Funktionssicherheit, Security Impact on Safety)	37
	5.3 Szenario 3: Umweltverträgliche und effiziente Mobilität	38
	5.4 Szenario 4: After-Sales und Maintenance	39
	5.5 Folgerungen für die kosteneffiziente Entwicklung und Fertigung	41



6	Fertigkeiten, Fähigkeiten und Technologien	43
6.1	Automatisiertes Fahren und Umweltmodelle	44
6.1.1	Stufen der Automatisierung	44
6.1.2	Zeitliche Anordnung	45
6.1.3	Fähigkeiten und technologische Herausforderungen	46
A.	(Situations-/Umwelt-) Erkennung	46
B.	(Situations-/Umwelt-) Bewertung	48
C.	Strategieentwicklung und -umsetzung	48
D.	Systementwurf und -qualifizierung	49
6.1.4	Weitere Einflussfaktoren	50
6.2	Fahrermodelle	50
6.2.1	Capabilities: Fähigkeiten und Fertigkeiten	51
6.2.2	Technologien	52
6.3	Basis-Software und Life-Time Adaptability	53
6.3.1	Zeitliche Anordnung	53
6.3.2	Fähigkeiten und technologische Herausforderungen	54
6.4	Entwicklungsprozess und -werkzeuge	58
6.4.1	Capabilities: Fähigkeiten und Fertigkeiten	59
6.4.2	Technologien	61
6.4.3	Querschnittsthemen	65
6.4.4	Rechtliche Rahmenbedingungen	65
7	Der Weg nach vorne	66
8	Anhänge	67
8.1	Literatur	67
8.2	FuE-Projekte	69
9	Autoren und Beteiligte	74

1 ZUSAMMENFASSUNG

„Intelligente Mobilität“ stellt eine der sechs prioritären Zukunftsaufgaben der Bundesregierung dar: „Neue Mobilitätskonzepte sind erforderlich, um Menschen und Güter auch in Zukunft schnell, sicher und komfortabel, gleichzeitig aber auch effizient, emissionsarm und ressourcenschonend befördern zu können. Der zunehmenden Vernetzung der Verkehrsträger und Fahrzeuge durch Informations- und Kommunikationstechnologien kommt dabei zentrale Bedeutung zu.“¹

Wie durch Innovationen in Informations- und Kommunikations- (IuK-) Technologien Mobilitätszenarien der Zukunft unterstützt werden können und welche Herausforderungen dabei zu bewältigen sind, wurde in

einem gemeinsam von Vertretern der Automobilindustrie und der Wissenschaft in einer durch die Gesellschaft für Informatik, SafeTRANS und dem Verband der Automobilindustrie (VDA) unterstützten szenariengetriebenen Prozess erarbeitet.

Komplementiert wurde dieser szenarienbasierte Ansatz durch eine Analyse der zentralen Trends in Markt, Gesellschaft und Industrie („Market Pull and Technology Push“) und ihrer Auswirkungen auf zukünftige Fahrzeuggenerationen. Die in der Roadmap adressierten Herausforderungen im Bereich der IuK-Technologien tragen dazu bei, die identifizierten Anwendungsszenarien bis 2030 in abgesicherter Form zu realisieren.

¹ [BMBF2014], Seite 26

2 EINLEITUNG

Die Automobilindustrie steht vor großen Herausforderungen. Zum einen muss sie auf die großen gesellschaftlichen und ökonomischen Veränderungen – Klimawandel, demografischer Wandel, Urbanisierung, Globalisierung, Beschränktheit von Ressourcen, verändertes Mobilitätsverhalten und Wandel zur digitalen Gesellschaft² – reagieren und ihre Produkte und Dienstleistungen entsprechend den dadurch veränderten Märkten anpassen. Neben diesen Veränderungen am Markt eröffnen weitere,

eher industriegetriebene Veränderungen und Entwicklungen neue Möglichkeiten und Handlungsoptionen. Hierzu gehört etwa die Verfügbarkeit neuer Technologien sowohl zur Realisierung neuer Fahrzeugfunktionalitäten als auch für die Prozesse und Methoden zur Entwicklung solcher neuen Funktionalitäten. Ebenfalls zu berücksichtigen sind Veränderungen in anderen Technologiebranchen wie beispielsweise der Telekommunikations- und Unterhaltungselektronikbranche, die Auswirkungen von Standardisierungen sowie Änderungen in den Zulieferketten.

Mitglieder des Steuerkreis

Dr. Christian Allmann	Audi Electronics Venture GmbH
Prof. Dr. Manfred Broy	Technische Universität München
Dr. Mirko Conrad	samoconsult GmbH
Prof. Dr. Werner Damm	SafeTRANS
Dr. Heiko Dörr	Model Engineering Solutions GmbH
Dr. Hieronymus Fischer	ESG Elektroniksystem- und Logistik GmbH
Thomas Gallner	Continental Automotive GmbH
Dr. Holger Grandy	BMW Group
Dr. Klaus Grimm	Daimler AG (ehemals)
Dr. Arne Hamann	Robert Bosch GmbH
Prof. Dr. Bernd Hohlfeld	ICS AG (ehemals)
Prof. Dr. Stefan Jähnichen	Technische Universität Berlin
Ralf Kalmar	Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE
Prof. Dr. Stefan Kowalewski	RWTH Aachen
Dr. Thomas Kropf	Robert Bosch GmbH
Peter Manhart	Daimler AG
Florian Netter	Audi Electronics Venture GmbH
Dr. Alexandre Saad	BMW Group
Prof. Dr. Ina Schaefer	Technische Universität Braunschweig
Prof. Dr. Jörn Schneider	Hochschule Trier
Gerhard Wirrer	Continental Automotive GmbH (ehemals)

Die Automobilindustrie kann – nicht zuletzt mit Hilfe der Querschnittstechnologie Eingebettete Systeme (Embedded Systems) – prinzipiell flexibel auf diese Veränderungen reagieren. Die Vielzahl und Größe der Veränderungen sowie die zunehmende Vernetzung von Automobilen untereinander und mit ihrer Umgebung als Reaktion darauf, machen jedoch ein abgestimmtes Handeln der Akteure gerade im vorwettbewerblichen Bereich und zur Etablierung gemeinsamer (de facto) Standards nötig.

Querschnittstechnologie Embedded Systems als Voraussetzung für flexible Reaktion auf Veränderungen

Abgestimmtes Handeln der Akteure nötig

Diese Roadmap stellt einen ersten Beitrag zu einem solchen abgestimmten Handeln dar. Ausgehend von einer Initiative der Fachgruppe Automotive Software Engineering im Fachbereich Softwaretechnik der Gesellschaft für Informatik (GI) wurden unter Leitung eines Steuerkreises aus Vertretern von Automobilherstellern (OEMs), Zulieferern und Wissenschaft zunächst die relevanten Trends und Entwicklungen sowohl in Markt und Gesellschaft als auch in Industrie und Wissenschaft identifiziert. Darauf aufbauend wurden zusammen mit Experten des Verbands der Automobilindustrie (VDA) und des Kompetenznetzwerks SafeTRANS (Safety in Transportation Systems) in mehreren Workshops Szenarien für eine zukünftige Mobilität entwickelt und abgeglichen. Diese Szenarien dienen als Basis für eine Analyse der zu ihrer Realisierung benötigten Fähigkeiten (Funktionen), Fertigkeiten (der Entwickler und der Entwicklungsprozesse) und Technologien. Diese Analyse wurde in mehreren Überprüfungen durch Experten der OEMs, Zulieferer und Wissenschaft validiert und stellt das zentrale Ergebnis dieser Roadmap dar, die mit einem Ausblick auf „den Weg nach vorne“ schließt.

Steuerkreis

² ARTEMIS-IAITEA2013]

3 ANWENDUNGSKONTEXT

UND INHALTE

8



Das Fahrzeug und seine eingebetteten Systeme liegt im Fokus der Betrachtungen.

Die Automobilbranche steht als großer Anwender von Software und Informationstechnologie in Produkten und Dienstleistungen im Fokus dieser Roadmap. Ausgangspunkt der Betrachtungen ist das Fahrzeug selbst und seine eingebetteten Systeme, d.h. integrierte Einheiten von Hardware- und Softwarekomponenten (insbesondere elektronische Steuergeräte), welche produktspezifische Funktionsmerkmale realisieren.

Die Schnittstellen zur und die Anforderungen an die Umgebung (z.B. Verkehrsinfrastruktur, IT-Systeme, Internet der Dinge und Dienste) werden als Teil des Gesamtsystems „Mobilität“ in diesem Dokument mitberücksichtigt, jedoch in der detaillierten Betrachtung nicht weiter ausgeführt.

Bei der Erarbeitung der Roadmap wurde ein szenariobasierter Ansatz gewählt. In vier Szenarien - „der Mensch im Mittelpunkt“, „Zero Accidents“, „umweltverträgliche und effiziente Mobilität“ sowie „After-Sales und Wartung“ – werden unterschiedliche Aspekte der Anwendung softwareintensiver eingebetteter Systeme im Automobil der Zukunft thematisiert und ihre Ausprägung prognostiziert. Aus diesen werden dann deduktiv die zu ihrer Realisierung benötigten Fertigkeiten,

Fähigkeiten und Technologien abgeleitet und damit aus aktuellen gesellschaftlichen Herausforderungen, dem Stand der Technik und aktuellen Trends extrapoliert.

Neben der Software eingebetteter Systeme liegt ein weiterer Schwerpunkt auf dem Entwicklungsprozess sowie den Techniken, Methoden und Werkzeugen, um zukünftige Produkte und Dienste mit den geforderten Qualitätseigenschaften wettbewerbsfähig zu entwickeln.

Weitere Dokumente, die im Zusammenhang mit dieser Roadmap stehen und teils detailliertere, teils allgemeinere Aspekte beleuchten, sind insbesondere die Nationale Roadmap Embedded Systems [NRES2009], die Handlungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt „Industrie 4.0“ [Ind40] sowie auf internationaler Ebene das Forschungsrahmenprogramm „Horizont 2020“ der Europäischen Union [Horizon2020] und die ITEA/ARTEMIS-IA Vision 2030 [ITEAARTEMIS-IA2013].

Mögliche Anwender der Roadmap sind Vertreter aus Industrie, Politik und Forschung, welche wettbewerbsübergreifende Fragestellungen aufgreifen möchten, um im gemeinsamen Dialog Lösungsansätze zu entwickeln und in gemeinschaftlichen Projekten zu bearbeiten.

4 TRENDS UND MÖGLICHKEITEN



4.1 WANDEL IN GESELLSCHAFT UND MARKT

Die Welt unterliegt einem ständigen Wandel. Die großen gesellschaftlichen und ökonomischen Veränderungen – Klimawandel, demografischer Wandel, Urbanisierung, Globalisierung, Beschränktheit von Ressourcen, Mobilität und Wandel zur digitalen Gesellschaft³ – haben bereits begonnen und werden das zukünftige Verhalten von Kunden und Herstellern nachhaltig verändern. Die Automobilindustrie kann – nicht zuletzt mit Hilfe der Querschnittstechnologie Eingebettete Systeme – prinzipiell flexibel auf diese Veränderungen reagieren, sieht sich jedoch einer Vielzahl von Veränderungen in den verschiedenen Bereichen gegenüber, die im Folgenden beschrieben werden.

4.1.1 MOBILITÄT

Technologie ist dann erfolgreich, wenn sie Lösungen bietet, die den Bedürfnissen der Menschen entsprechen. Das Bedürfnis nach Mobilität erlebt aktuell Veränderungen, die die Entwicklung von technischen Systemen für die Mobilität stark beeinflussen, und die auch von der Bundesregierung als zu lösende Herausforderungen identifiziert wurden: „Die Veränderung der Bevölkerungsstruktur sowie die zunehmende Urbanisierung führen zu neuen Anforderungen, aber auch zu neuen Möglichkeiten für den individuellen und öffentlichen Verkehr, denen die Bundesregierung Rechnung tragen wird, insbesondere auch mit Blick auf die ländlichen Räume“⁴

Diese Veränderungen sind dabei regional und in Bezug auf Kundengruppen stark unterschiedlich. In den westlichen Industrienationen erleben wir derzeit eine starke Veränderung im Mobilitätsverhalten von jungen Menschen⁵. Lebte 1998 noch jeder zehnte Deutsche zwischen 18 und 34 Jahren in einem Haushalt ohne Automobil, so war es 2008 bereits jeder fünfte. Gleichzeitig wird vor allem individuelle Mobilität teurer, weil die Knappheit der Fläche in Ballungsräumen steigt. Dies hat wirtschaftliche und emotionale Auswirkungen

Marktveränderungen sind regional und in Bezug auf Kundengruppen stark unterschiedlich.

³ [ITEAARTEMIS-IA2013]

⁴ [BMBF2014], Seite 26

⁵ [ifmo2011]

Umweltverträglichkeit

auf den individuellen PKW-Halter. Damit sind nicht nur etwa Parkkosten gemeint, sondern auch die Transaktionskosten der Parkplatzsuche oder der Stress durch staubedingte Zeitverluste. Gerade in Großstädten wird dies zunehmend zum Problem. Vor diesem Hintergrund werden Kosteneffizienz und damit bezahlbare Mobilität zunehmend wichtiger – auch unter dem Kompromiss, dann kein eigenes Fahrzeug zu besitzen.

Zusätzlich stellen viele Menschen in den westlichen Industrienationen die Umweltverträglichkeit von Mobilität für sich stärker in den Mittelpunkt (vgl. 4.1.4). Auch die Bundesregierung betont in ihrer Hightech-Strategie die Schaffung von ressourcenschonenden Mobilitätslösungen⁶. Zusammen mit den gestiegenen Kosten und gepaart mit einer stark zunehmenden Urbanisierung und dem Entstehen von weltweit immer mehr Mega-Cities führt dies zu einer stärker intermodal und multimodal orientierten Einstellung zur Mobilität, in der andere Verkehrsmittel neben dem Automobil gleichberechtigt das Bedürfnis nach Mobilität erfüllen. Gleichzeitig verliert der PKW-Besitz aber auch gegenüber der PKW-Nutzung an Bedeutung. Indem zunehmend auch andere Güter die Rolle der Statussymbole übernehmen (als Beispiel seien Mobiltelefon, Designmöbel und Reisen genannt) steigen – selbst bei identischen realen Kosten – die Opportunitätskosten des PKW-Besitzes.

Die Faszination Auto bleibt dennoch erhalten: Generell steigt über alle Fahrzeugtypen und Absatzmärkte weltweit die Anzahl von Automobilen⁷: Es wird erwartet, dass das weltweite Produktionsvolumen von insgesamt 57,1 Mio. Fahrzeugen auf fast die doppelte Anzahl von 101,5 Mio. Fahrzeuge in 2018 steigen wird.

Ein weiterer Trend ist der Wandel zur Elektromobilität und zur zunehmenden Verbreitung von Hybridfahrzeugen. Emissionsfreie Zonen oder Umweltabgaben in Ballungsräumen sind in stärkerem Umfang zu erwarten, der politische Druck wächst (vgl. 4.1.4). Auch CO₂ Ziele z. B. der EU verschärfen die Anforderungen und bringen die Notwendigkeit alternativer Antriebskonzepte ebenso mit sich. Daneben spielen auch die Konsumentenforderungen zur umweltverträglichen Mobilität eine Rolle.

Die damit zusammenhängende Herausforderung des Aufbaus einer weltweit einheitlichen und flächende-



ckenden Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge wird von der Bundesregierung gefördert: „Die Elektromobilität soll einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung von Emissionen und zum Einsatz fossiler Energieträger liefern und ist dabei gleichzeitig ein Wachstumsmarkt von hoher industriepolitischer Bedeutung.“⁸ In einer weiteren Ausbaustufe könnte diese als eine Grundlage eines intelligenten Stromnetzes dienen, in denen Fahrzeuge mit ihren Batterien eine Pufferungsfunktion für Energie in Zeiten geringer Last übernehmen (vgl. 4.1.4).

Zusammen mit anderen Verkehrsmitteln wird die Mobilität damit stärker einer Ende-zu-Ende-Betrachtung unterzogen. Ein passendes Mobilitätskonzept muss alle Verkehrsmittel durchgängig mit einbeziehen und dem Nutzer die jeweils optimale Lösung bieten.

Gerade in Ballungsräumen wird der Nutzen verschiedener Mobilitätskonzepte stärker gegeneinander abgewogen und es wird situationsbedingt sowie kostenoptimiert für die jeweils optimale Mobilitätslösung entschieden (vgl. auch „Neue Konzepte für den Individualverkehr“ in 4.1.3). In dieser Situation entstehen zunehmend neue Nutzungskonzepte für die Mobilität, wie z. B. besitz-unabhängige Nutzungsszenarien für Fahrzeuge mittels Car Sharing. Gerade die stationslose Form des Car Sharings, in der Fahrzeuge über mobile Endgeräte gefunden und gebucht werden, sowie im Anschluss an die Fahrt an beliebiger Stelle innerhalb eines Geschäftsgebietes wieder abgestellt werden können, gewinnt derzeit stark an Bedeutung. Klar ist: Mobili-

Multimodale, optimal an den Nutzer angepasste Mobilität

⁶ [BMBF2014]

⁷ [Deloitte2014]

⁸ [BMBF2014], Seite 26

tät muss in dieser veränderten Welt flexibler werden. Nutzer erhalten dadurch die Möglichkeit, ihre Mobilität situativ besser anzupassen. Im Sinne der Ende-zu-Ende-Betrachtung der Mobilität ist es dabei insbesondere wichtig, Car Sharing nicht als isolierte Dienstleistung zu sehen, sondern als integralen Bestandteil eines multi-/intermodalen Mobilitätsportfolios.

Für die technische Umsetzung bedeutet dies primär mehr Vernetzung und die Notwendigkeit, Daten zwischen Fahrzeugen, Infrastruktur und mobilen Endgeräten der Nutzer durchgängig austauschen zu können, damit eine jederzeit optimale Versorgung mit allen Informationen zur individuellen Mobilitätssituation gewährleistet werden kann.

Auf der anderen Seite erleben wir im globalen Umfeld die Herausforderung, dass z. B. in Schwellenländern der Weg in eine Mobilität, die wir heute in den Industriestaaten gewohnt sind, gerade erst gegangen wird. In diesen Ländern sind vor allem die klassischen Konzepte des Fahrzeugbesitzes ungebrochen und stark nachgefragt. In Summe zeigt dies: die Automobilindustrie steht vor der Herausforderung, die Mobilität der Zukunft viel stärker regional angepasst und flexibel im Nutzungskonzept der Fahrzeuge zu gestalten. Auf der anderen Seite ist der Status des eigenen Automobils als dem alleinigen Allzweckmittel für die individuelle Mobilität heute und in Zukunft differenzierter zu be-

trachten. Mobilität wird zunehmend zur Dienstleistung – ihre Ausgestaltung wird regional unterschiedlicher gestaltet, als dies heute der Fall ist.

Für die individuelle Mobilität in Ballungsräumen (vgl. auch 4.1.3) wachsen gleichzeitig Angebote verschiedenster Umfänglichkeit, von Kleinstfahrzeugen für die hauptsächlich kostenoptimierte Mobilität bis hin zu Premiumfahrzeugen mit hohem Anspruch an Komfort, Sicherheit und Individualisierung. Gerade letzteres bringt eine neue Herausforderung in die Gestaltung der Mobilität mit einem Fahrzeug mit sich: die individuelle Ausgestaltung eines Automobils im Kontext von besitz-unabhängiger Nutzung – etwa bezugnehmend auf Fahrzeugeinstellungen oder Funktionalität. Die Cloud und mobile Endgeräte des Nutzers werden zunehmend zum Zugang zur Mobilität und auch zur Quelle der Individualisierung von Mobilität, und ihre nahtlose Integration in Fahrzeuge wird immer wichtiger. Nicht zuletzt bringt dieser Trend eine neue Herausforderung an den Datenschutz (Privacy) und die Datensicherheit (Security) von solchen Funktionen. Sowohl der Zugang zu Mobilitätsdiensten als monetäre Werte als auch die Privatsphäre des Nutzers mit allen Informationen bzgl. der Ausgestaltung seiner individuellen Mobilität müssen umfassend geschützt werden.

Die Fahrzeuge auf der anderen Seite müssen zugleich hochverfügbar und durch Vernetzung immer

Vernetzung und Datenaustausch

Mobilität als Dienstleistung.

Privacy und Security



lokalisierbar sein sowie ihr Status abfragbar. Ein nicht vernetztes Fahrzeug ist im Car Sharing ein nicht nutzbares Fahrzeug. Die Diagnose solcher Fahrzeuge muss vollständig aus der Ferne ausführbar sein. Service und Wartung sind für diese Fahrzeuge Bestandteil eines Betreibermodells durch einen Mobilitätsanbieter. Softwareupdates über Funknetze werden für diese Fahrzeuge neue Funktions- und auch Serviceumfänge ermöglichen.

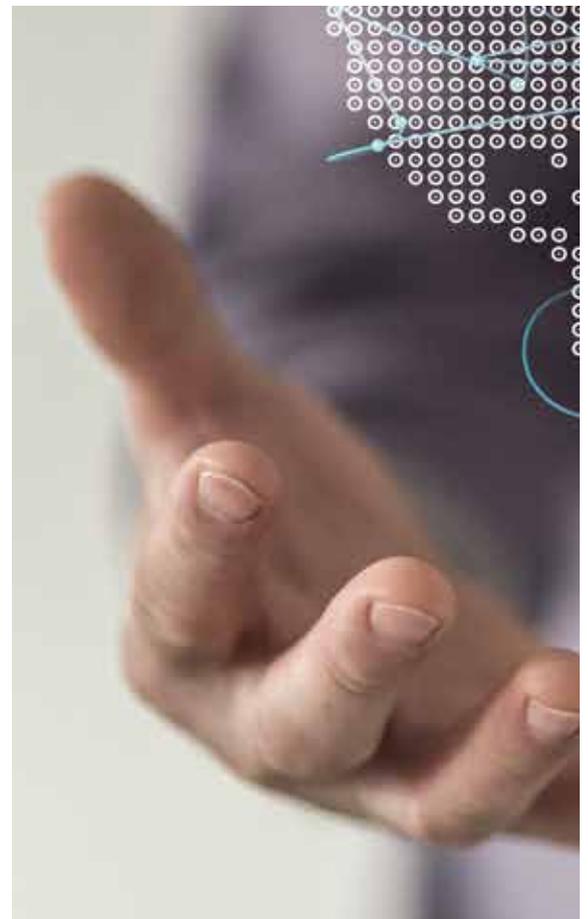
Ebenso einher mit besitzunabhängiger Mobilität geht die Herausforderung, häufig neue und unbekannte Fahrzeuge und Fahrzeugfunktionen möglichst einfach und direkt nutzbar zu gestalten. Die Erstbenutzung unbekannter Fahrzeuge wird zum neuen Alltag. Noch stärkere Individualisierbarkeit wird für Fahrzeuge daher immer wichtiger.

Zusammen mit diesen Veränderungen in der Nutzung von Mobilität ist ein weiteres Ziel, die Mobilität mit Fahrzeugen noch sicherer und verlässlicher zu gestalten. „Zero Accidents“ ist eine oft gehörte Forderung. Fahrzeuge werden nicht mehr nur in der Premiumklasse mit Assistenzsystemen ausgestattet und erleben eine immer stärkere Vernetzung. Verlässliche Stauinformationen in Echtzeit sind heute schon Stand der Technik. Fahrzeuge, die ihre direkte Umwelt durch Sensorik erkennen können, sind heute schon verfügbar. Die Vernetzung führt künftig zur Erkennung auch vorausliegender Gefahrensituationen sowie zur Möglichkeit der passenden Reaktion – sei es durch den Fahrer oder durch das Fahrzeug selbst. Schritte hin zum hochautomatisierten Fahren, in dem das Fahrzeug die Fahraufgabe zeitweise ganz übernehmen kann, sind getan. Diese Konzepte werden die Erfahrung von Mobilität wesentlich verändern. Ganz neue Nutzungsmöglichkeiten für Verkehrsinfrastruktur, wie z. B. die dedizierte Steuerung des Gesamtverkehrs hinsichtlich eines regional optimierten Verkehrsflusses über Verkehrsregelsysteme und vollautomatisiert fahrende Fahrzeuge, werden denkbar. Ist der Fahrer in solchen Situationen nicht mehr vollständig mit der Fahraufgabe beschäftigt, gewinnt auch die Nutzung von Zeit im Automobil einen ganz neuen Charakter. Heute ist z. B. ein Infotainment-System so ausgelegt, dass die Fahraufgabe trotz der Benutzung sicher bewältigt werden kann. Entlastet künftig das Fahrzeug den Fahrer noch stärker oder übernimmt es sogar vollständig die Fahraufgabe, können hier z. B. auch stärker interaktive Inhalte dargestellt werden oder neue Bedienkonzepte verwendet werden. Fahrtzeit wird zunehmend

produktiv oder zur Freizeit genutzt werden, in der z. B. geschäftliche Korrespondenz, vernetztes Arbeiten oder auch Medienkonsum stattfindet. Parallel steigt die grundsätzliche berufliche Mobilität in der Gesellschaft. Zusammen gewinnen diese Systeme dadurch also zum einen an Funktion, zum anderen aber auch an Bedeutung während der Fahrt. Dies geht natürlich zum einen einher mit steigenden Anforderungen an die technische Leistungsfähigkeit, entsprechend den Anforderungen in der digitalen Welt außerhalb des Automobils, zum anderen mit der Notwendigkeit einer – möglichst internationalen -- Klärung der rechtlichen Situation, insbesondere Haftungsfragen und Versicherungsschutz..

4.1.2 GLOBALISIERUNG

Die deutsche Automobilindustrie produzierte in Folge ihrer konsequenten Globalisierungsstrategie erstmals 2010 mehr Fahrzeuge im Ausland als im Inland⁹. Sie erzielte 2013 einen weltweiten Umsatz von rund 362 Mrd. Euro (2012: 357 Mrd. Euro) und konnte ihren Marktanteil in Westeuropa, in den USA, im lateinamerikanischen Mercosur-Raum, in Russland und China im Vergleich zum Vorjahr weiter steigern. Jedes fünfte Auto, das in China verkauft wird, ist eine deutsche



⁹ [Braeunig2012], [Wissmann2012], [Wissmann2013]

Konzernmarke. Drei von vier Autos, die in Deutschland gefertigt werden, gehen in den Export. Dieser Abschnitt beleuchtet die aus dieser Globalisierungsstrategie resultierenden technologischen Herausforderungen.

Automobilhersteller und Zulieferer bedienen einen globalen Markt mit regional sehr heterogenen Bedingungen, welche anhand der Dimensionen Kundenerwartungen, Rahmenbedingungen in der Verwendung von Technologien sowie regulatorische Rahmenbedingungen exemplarisch umrissen werden. Diese führen zu einem exponentiellen Wachstum in der Vielzahl der zu behandelnden Varianten, welche sowohl unter Kosten- wie auch Qualitätsaspekten zu beherrschen sind. Ebenso gilt es Ländergegebenheiten im Service zu berücksichtigen.

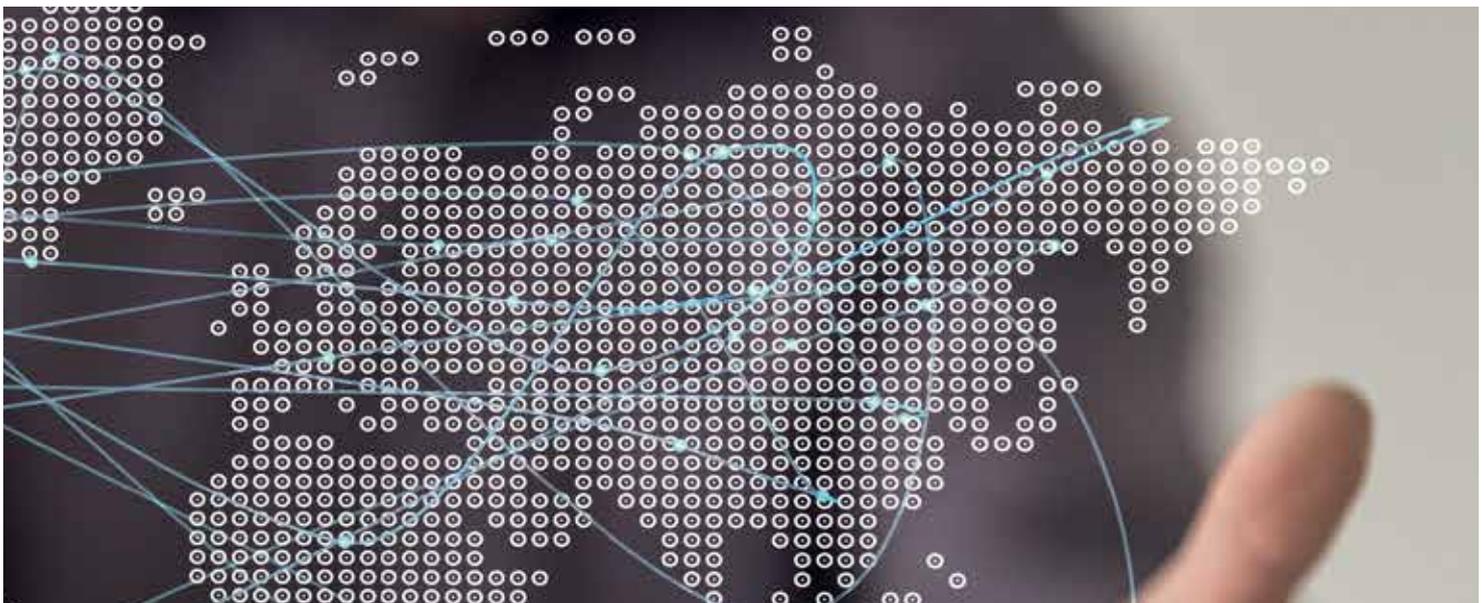
Vergleicht man beispielsweise die prognostizierten Absatzzahlen von verschiedenen Fahrzeugsegmenten

um rund 35% auf 73% in 2018 gerechnet. Darüber hinaus werden Sport- und Oberklassefahrzeuge weiterhin in allen Märkten Nachfrage erzeugen¹¹.

Länderspezifische Kundenerwartungen betreffen neben den bereits oben diskutierten unterschiedlichen Mobilitätsersparungen insbesondere die Gestaltung der Schnittstelle zum Menschen, in der neben offensichtlichen Aspekten wie Sprache (Text, Spracherkennung- und Ausgabe), kulturspezifische Erwartungshaltungen in der Art der Graphikgestaltung oder in der multimedialen Schnittstelle („Fernsehbildschirm automatisch bei Stillstand des Fahrzeuges aktivieren“) und in der Art der Benutzerführung (welche Art von Informationen muss wie schnell erreichbar sein) genügen müssen. Dies verstärkt den ohnehin vorhandenen Trend zur Individualisierung und Personalisierung der Fahrzeugfunktionen, auch im After-Sales Bereich (siehe Kapitel 5.4 Szenario

Globaler Markt mit regional sehr heterogenen Anforderungen führt zu Vielzahl von Varianten

Mensch-Maschine-Schnittstelle



im europäischen, chinesischen und nordamerikanischen Markt, fallen Unterschiede auf ¹⁰: Für Europa geht man davon aus, dass im Jahr 2018 das Fahrzeugsegment der Klein- und Kleinwagen 35% betragen wird, wohingegen dieses in China 25% und in Nordamerika 5% ausmachen wird. Allerdings zeigt sich in allen drei genannten Märkten eine Tendenz in Richtung Klein- und Kompaktwagen. Die Entwicklung des Fahrzeugsegments der Kompaktfahrzeuge (einschließlich Klein- und Kleinwagen) wird sich in Europa von 66% in 2002 auf voraussichtlich 75% in 2018 erhöhen. Ähnlich sieht die Steigerung im nordamerikanischen Markt aus: Hier wird ein Wachstum von rund 27% in 2002 auf 39% in 2018 erwartet. Für China wird mit einer Steigerung

„After-Sales und Wartung“). Ebenso betroffen sind länderspezifische Funktionen für die Fahrzeugumgebungserfassung (z. B. unterschiedliche Verkehrszeichen) sowie Präferenzen im Look and Feel (lange Fahrzeuge in China, schlechte Akzeptanz von Diesel in USA). Im Infotainment-Bereich ist die unterschiedliche Verfügbarkeit von On-line Diensten zu berücksichtigen. Schließlich sind Anpassungen an die jeweils verfügbaren Kommunikationsnetze (z. B. WLAN Funkkanäle) und verwendbaren Verschlüsselungstechnologien erforderlich.

Ein weiterer signifikanter Treiber der Variantenvielfalt sind länderspezifische Vorschriften, etwa zur Begrenzung von Treibhausgasemissionen wie CO₂

Länderspezifische Regularien zu Emissionen, Verbrauch, Zulassung und Sicherheitsanforderungen

¹⁰ [Deloitte2014]

¹¹ [Deloitte2014]



sowie NOx- und Partikelemissionen, Anforderungen zum Flottenverbrauch, Außengeräuschvorschriften, länderspezifische Zulassungsvoraussetzungen sowie schließlich länderspezifische Sicherheitsanforderungen wie etwa auch zu Crash-Test-Klassen. In diesem Zusammenhang sind auch länderspezifische Vorgehensweisen in der Zulassung von vollautomatisierten Fahrzeugen (siehe etwa Zulassung in Kalifornien und Nevada) relevant. Darüber hinaus sind in Ausstattungsvarianten länderspezifische Randbedingungen in Qualifikation und Ausstattung von Werkstätten der Endkundenländer zu berücksichtigen.

Grundsätzlich wird durch massiven Einsatz von Plattformstrategien eine weitest gehende Vereinheitlichung zunehmend auch über Fahrzeugfamilien hinweg angestrebt, um den Grad an Wiederverwendung zu maximieren. Dieses gilt insbesondere für Hardware und Basissoftware. Tendenziell werden die Volumen von Fahrzeugen, die auf Produktionsplattformen für verschiedene Modelle basieren, zunehmen. Bei den gefertigten Fahrzeugen, die auf den elf volumenstärksten Plattformen basieren, wird eine Steigerung von rund 7,3 Mio. in 2002 auf ca. 24 Mio. Fahrzeuge in 2018 prognostiziert¹². Allerdings führt die hohe Anzahl der zu berücksichtigenden Parameter dazu, dass Plattformen immer komplexer werden. Unterschiedliche Ansätze werden zur Beherrschung der Variantenvielfalt verfolgt. Diese reichen von weitestgehend individualisierter Applikationssoftware-Konfiguration pro Fahrzeug in der Produktion zu Strategien der Entwicklung eines „Weltfahrzeuges“, sodass länderspezifische Varianten der Softwarestände für etablierte Funktionalitäten durch „Spezialisierung“ gewonnen werden können. Länderspezifische Bestimmungen müssen zunehmend durch europäische oder sogar international einheitliche Regelungen ersetzt werden, um die Variantenvielfalt zu beherrschen bzw. zu reduzieren.

4.1.3 URBANISIERUNG

Weltweit ist eine Konzentration von wirtschaftlichen Aktivitäten in urbanen Zentren zu beobachten. Nach Schätzung der UNO wird der Anteil der Weltbevölke-

rung, die in Städten lebt, von derzeit 52% bis zum Jahr 2050 auf 67% anwachsen¹³. In China sollen bereits im Jahr 2025 mehr als 1 Mrd. Menschen in Städten leben. Städte bieten für viele Wirtschaftszweige mit hohem Wertschöpfungsanteil und den gesamten Dienstleistungssektor beste Voraussetzungen. Die Verfügbarkeit von guter Infrastruktur und qualifizierten Arbeitskräften sind ein wesentlicher Standortfaktor. Dies umfasst insbesondere die Verkehrswege und Transportmöglichkeiten von Personen und Gütern. Allerdings bringt die Verstädterung eine Reihe von Herausforderungen für die Gesellschaft mit sich, welche sich auch auf Mobilitätslösungen auswirken. Beispiele sind die Überlastung der Verkehrswege oder die Schadstoffbelastung der Luft durch den Verkehr. Aufgrund der technischen Möglichkeiten (z. B. im Bereich der Kommunikationsinfrastruktur) und der Investitionsfähigkeit in den Städten werden hier in den nächsten Jahren jedoch auch viele technische Entwicklungen und Innovationen erwartet.

Umgekehrt ist in manchen Regionen eine „Entvölkerung“ zu beobachten – mit negativen Folgen auf die Mobilität und damit auch die Attraktivität dieser Gegenden (vgl. auch Abschnitt 4.1.1). Beispielsweise werden klassische Angebote des öffentlichen Nahverkehrs in ländlichen Gebieten zunehmend unrentabel. Hinzu kommen steigende Kosten des Individualverkehrs, z. B. durch höhere Treibstoffpreise. Die mit der weltweiten Urbanisierung verbundenen Veränderungen haben einige Trends für die zukünftige Entwicklung von Mobilitätslösungen ausgelöst, deren wichtigsten nachfolgend kurz benannt werden sollen:

Neue Konzepte für den Individualverkehr

In größeren Städten stellen die Verkehrswege und Stellflächen für Fahrzeuge knappe Ressourcen dar (vgl. auch 4.1.1), welche sich nur langsam und kostenintensiv erweitern lassen. Zur effizienten Nutzung der Straßen liegt eine Optimierung des Verkehrsflusses nah, wie bereits in einigen Großstädten (z. B. Stockholm) erfolgreich praktiziert. Über die Vernetzung von Fahrzeugen mit der Infrastruktur (Car-2-Infrastructure) lassen sich dabei noch weitere Optimierungspotenziale

Länderspezifische Regularien zu Emissionen, Verbrauch, Zulassung und Sicherheitsanforderungen

Verkehrswege und Stellflächen als knappe Ressourcen

Multimodale, integrierte, effiziente Verkehrskonzepte für individuelle Transportwünsche

¹² Eigene Berechnungen auf Grundlage von [Delloitte2014].

¹³ [UnitedNations2011]

erschließen, die beispielsweise individuelle Fahrziele mit einbeziehen¹⁴. Eine weitere mögliche Maßnahme ist die Einschränkung des Individualverkehrs (z. B. durch City-Maut oder autofreie Innenstädte), die jedoch nicht zu Lasten der Mobilität der Personen gehen darf. Neue multimodale, integrierte, effiziente Verkehrskonzepte (vgl. 4.1.1) bieten hier Lösungen an, die vom Car Sharing/Car Pooling, Mitfahrangebote über die intelligente Vernetzung unterschiedlicher Verkehrsträger¹⁵ bis hin zu sogenannten „Cyber Cars“ reichen, welche vollautomatisiert individuelle Transportwünsche erfüllen¹⁶. Aufgrund der hohen Verkehrsdichte und der relativ kurzen Fahrzeiten haben urbane Räume ein großes Potenzial, solche Lösungen wirtschaftlich und attraktiv anbieten zu können. Darüber hinaus eröffnet die Integration mobiler Datendienste in Mobilitätsdienstleistungen in Städten viele Möglichkeiten, da viele Daten-Anbieter und –Nutzer zusammentreffen (Beispiel Harman urbanSWARM). Erste Anbieter, wie z. B. myCityWay oder Embark treten derzeit in diesen Markt ein.

Lösungsansätze einer Automatisierung bzw. das (teil) automatisierte Fahren adressieren zudem eine Reduktion der nichtproduktiven Fahrzeiten. Dies kann einerseits dazu dienen, Wartezeiten in Staus oder bei stockendem Verkehr zu reduzieren oder andererseits, in den Fahrzeugen verbrachte Zeiten insgesamt zu reduzieren, wie beispielsweise bei automatisierten Parklösungen.

Umweltfreundliche Mobilitätslösungen

Gerade im innerstädtischen Bereich sind Schadstoff- und Geräuschemissionen störend und stellen ein Gesundheitsrisiko dar, welches zunehmend weniger toleriert wird.

Viele Entwicklungsziele laufen deshalb auf ein Null-Emissions-Fahrzeug hinaus, insbesondere auf Basis von Elektroantrieben. Die Realisierungschancen sind aufgrund der relativ geringen Geschwindigkeiten und der kurzen Wegstrecken im urbanen Bereich sehr hoch, da die aktuellen Nachteile derzeitiger Energiespeicher nicht so sehr ins Gewicht fallen. Neben den klassischen PKW sind hier auch neue Kleinstfahrzeugformen (vgl. Renault Twizy, Rinspeed microMAX) bis hin zu alternativ angetriebenen Krafträdern (Pedelects, E-Bikes) im Kommen.

Sicherheit im Straßenverkehr

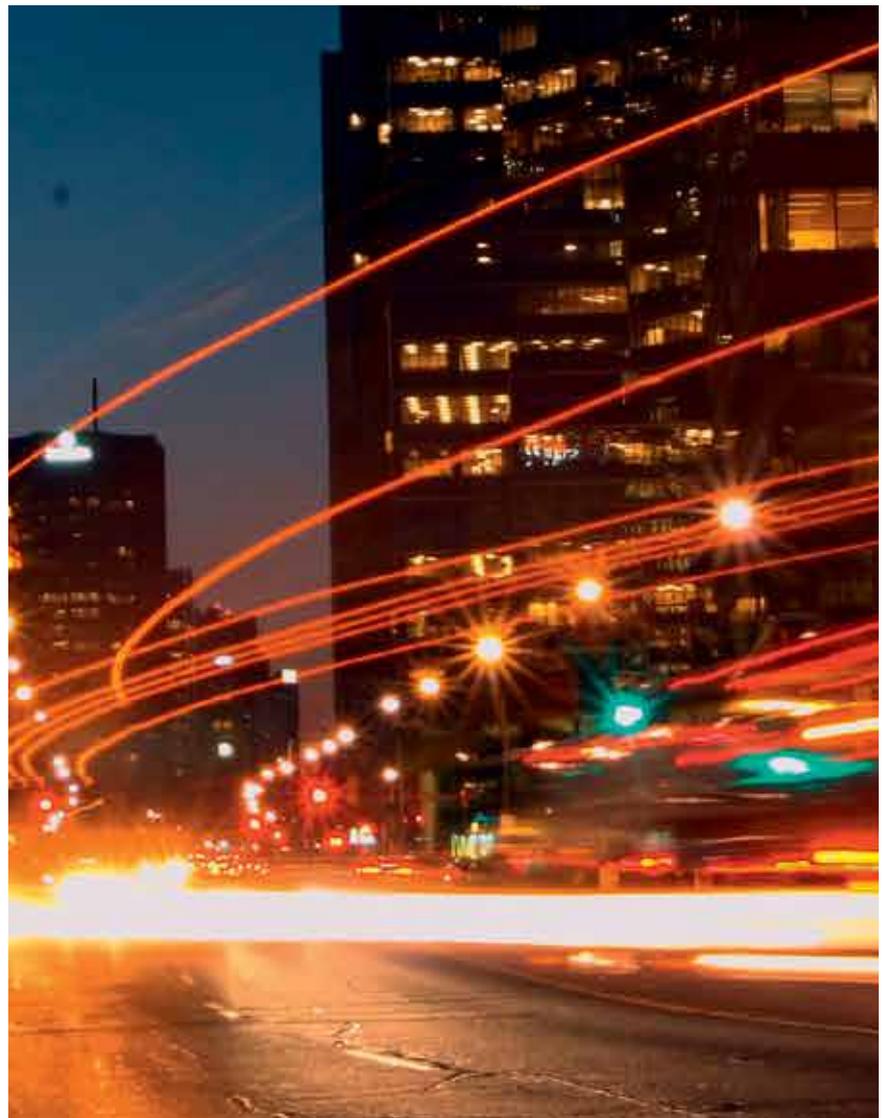
Der intermodale Verkehr sowie der Trend zu Leicht-

und Kleinstfahrzeugen in den Städten führt zu besonderen Herausforderungen in der Verkehrssicherheit der unterschiedlichen Verkehrsteilnehmer, die sich in Zukunft über den demografischen Wandel oder den Mischverkehr mit hochautomatisierten oder vollautomatisierte Fahrzeugen noch verstärken werden. Diese äußern sich in besonders komplexen Situationen (z. B. in Kreuzungsbereichen), in denen menschliche Fehler zu Unfällen führen. Fahrerassistenzsysteme bis hin zu vollautomatisiert geführten Fahrzeugen können hier maßgeblich helfen, Risiken zu reduzieren und Unfälle zu vermeiden. Auch die High-Tech Strategie der Bundesregierung sieht diesen Bedarf: „Intelligente Fahrzeug- und Verkehrsleitsysteme können durch den Austausch von Informationen sowie präzise und zuverlässige Satellitennavigation und Ortung dazu beitragen, dass der Verkehr sicherer, effizienter und umweltfreundlicher wird. Die Bundesregierung unterstützt Forschungsprojekte z. B. von Fahrerassistenzsystemen bis hin zur Erarbeitung von Lösungen für das hochautomatisierte Fahren.“¹⁷

*Verkehrswege und
Stellflächen als knappe
Ressourcen*

Null-Emissions-Fahrzeug

Funktionale Sicherheit



¹⁴ [EasyWay], [SimTD]

¹⁵ [CityMobil]

¹⁶ [Cybercars]

¹⁷ [BMBF2014], Seite 26

4.1.4 UMWELTBEWUSSTSEIN UND KLIMAWANDEL

Initiiert und weiterhin angetrieben vom menschengemachten Wandel der Umweltbedingungen fand und findet eine zunehmende Änderung der gesellschaftlichen Wahrnehmung und Aufmerksamkeit hinsichtlich des Einflusses des Individuums sowie größerer gesellschaftlicher Strukturen auf die Umwelt statt. Dies führt zu einer erhöhten Sensibilität gegenüber allen umweltschädlichen Aktivitäten quer über alle Lebensbereiche und damit auch der Mobilität. Die Bereitschaft, das eigene Verhalten zu ändern oder aktiv im Rahmen der eigenen Möglichkeiten etwas für den Schutz der Umwelt zu tun ist entsprechend gestiegen und tritt, auch aufgrund ökonomischer Konsequenzen (z. B. Treibstoffpreise), bei breiten gesellschaftlichen Gruppen auf.

Fahrzeuge für umweltverträgliche, effiziente und wirtschaftliche Mobilität

Die Fahrzeugnutzer erwarten die richtigen Fahrzeuge und die richtige Infrastruktur für eine umweltverträgliche, effiziente und wirtschaftliche Mobilität (vgl. auch 4.1.1). Sie sind in zunehmendem Ausmaß bereit, ihr eigenes Mobilitätsverhalten entsprechend zu ändern und erwarten zielgerichtete Lösungen.

Ganzheitliche Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus

Beispiel für technische Umsetzungen sind die Unterstützung für verbrauchssenkende Fahrweisen, Tuning zur Verbrauchssenkung, Umrüstung auf alternative Treibstoffe, Hybrid- und Elektromobilität, Systeme zur Verkehrsflussoptimierung und Lösungen für den intermodalen Verkehr.

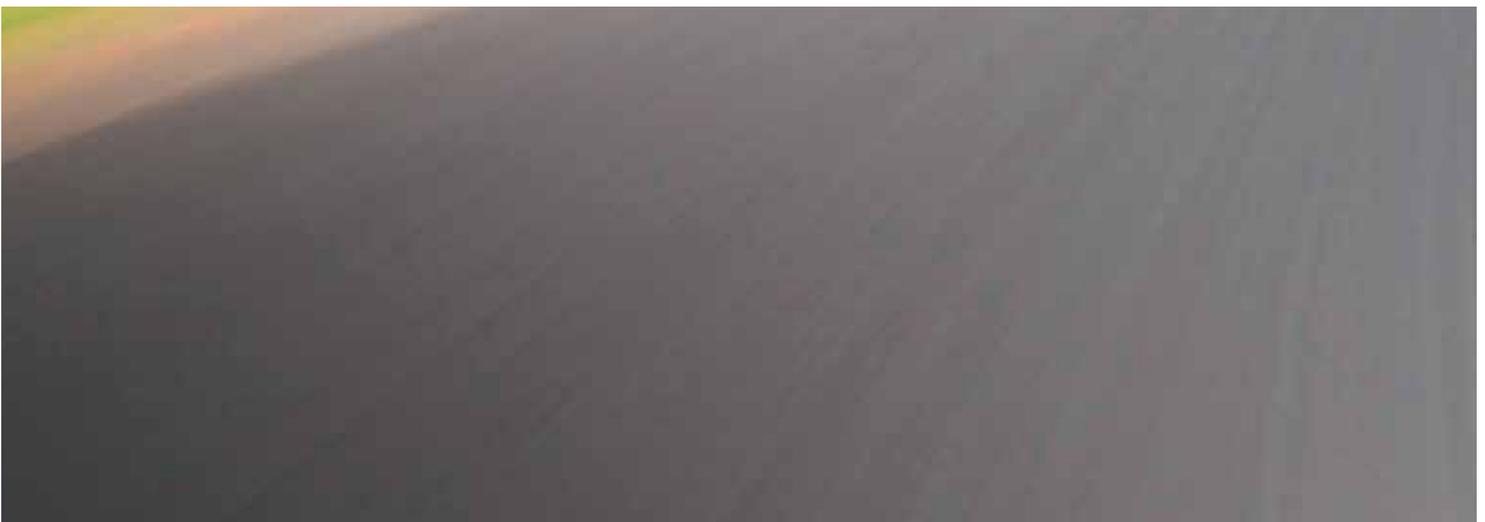
Transparenz

Zudem ist ab 2017 geplant, den heute gültigen NEDC für das Messen von CO₂ Werten durch den sogenannten WLTCZ/WLTP abzulösen, durch den die Emissionen unter realeren Fahrbedingungen angegeben werden. Die Wirksamkeit verschiedener technischer Maßnah-

men muss unter diesen Rahmenbedingungen neu betrachtet werden.

Hierbei steht auch beim Einzelnen eine ganzheitliche Betrachtungsweise immer stärker im Vordergrund. Elektromobilität wird dabei beispielsweise keineswegs automatisch mit emissionsfreiem Fahren gleichgesetzt, da auch die Emissionen bei Erzeugung der Energie berücksichtigt und die Produktion sowie die Zweitverwendung von Produkten und deren Recycling werden bei der Bewertung von Lösungen gleich mitbetrachtet werden.

Einen hohen Stellenwert nimmt die Anforderung nach Transparenz ein. Sei es beim Betrieb (z. B. „Wie sind aktuell die Energieflüsse im Hybridsystem?“, „Warum ist die Start/Stop-Funktionalität gerade nicht verfügbar?“, „Wie ist mein persönlicher CO₂-Footprint im aktuellen Monat?“) oder hinsichtlich des Lebenszyklus (z. B. Zertifikate hinsichtlich verwendeter Rohstoffe, Energiebedarf im Rahmen der Fertigung und Wiederverwertbarkeit der Materialien). Für den Betrieb der Fahrzeuge ergibt sich die Anforderung gegenüber dem Fahrzeugnutzer eine erhöhte Transparenz hinsichtlich der Betriebsmodi zu schaffen, insbesondere um ein zufriedenstellendes Maß an Vertrauen in die Technik zu erzielen. Wie in [Muir96] empirisch nachgewiesen, sinkt das Vertrauen in Technik erheblich, wenn für den Nutzer nicht erklärbare Variationen im Verhalten der Systeme auftreten. Transparenz hinsichtlich der Ressourceneffizienz (etwa bezogen auf den tatsächlichen Verbrauch fossiler Energieträger über die komplette Kette der Energieerzeugung oder hinsichtlich des Rohstoffverbrauchs über den gesamten Lebenszyklus) adressiert das gesteigerte Umweltbewusstsein in der Gesellschaft, schafft Vergleichbarkeit von Lösungsansätzen und Produkten und dient dem Nachweis der Einhaltung politisch vorgegebener bzw. gesellschaftlich gewünschter Ziele.





Ohnehin wird von angebotenen Lösungen gefordert, dass diese möglichst Synergieeffekte über den Bereich der Mobilität hinaus bieten. Beispiele hierfür sind die verschiedenen zum Teil in Forschungsprojekten untersuchten Modelle zur Verwendung von Fahrzeugbatterien für das gesteuerte Laden und Rückspeisen von Strom, etwa zum regionalen Ausgleich schwankender Erzeugung von regenerativer Energie oder zur Eigennutzung im Haushalt oder zur Vermarktung.

Ein gewichtiger Faktor in diesem „Area of Change“ sind die regulatorischen Rahmenbedingungen, die sich auf das Gebiet Mobilität unmittelbar, z. B. Vorgabe von CO₂-Flottenverbräuchen oder eher indirekt, z. B.

Erneuerbare-Energien-Gesetz oder Chemikalienverordnung REACH, auswirken.

Die Geschwindigkeit des Wandels hinsichtlich der Anforderungen durch die Fahrzeugnutzer und regulatorischer Vorgaben ist so hoch, dass die Um- und Aufrüstung von Fahrzeugen während ihrer Lebenszeit erheblich zunimmt.

*Regulatorische
Rahmenbedingungen*

Konkrete Ziele für die Automobilindustrie lassen sich in die folgenden Richtungen ableiten:

- Vollständig emissionsfreies Fahren (inklusive emissionsfreier Energieerzeugung),
- Entwicklung hochflexibler Systeme, die sowohl in unterschiedliche und sich wandelnde Infrastruktursysteme integrierbar sind (z. B. Energienetze, Verkehrsleitsysteme) als auch bereits mit dem Ziel Nach- und Aufrüstbarkeit realisiert werden,
- Zweitverwendbarkeit von Funktionsgruppen nach dem Ende der Verwendung im Fahrzeug (z. B. Second Life von Fahrzeugbatterien),
- Technische Lösungen, die das Nachrüsten von Innovationen hinsichtlich Umweltverträglichkeit und Verbrauchseffizienz bei im Feld befindlichen Fahrzeugen erlaubt, sowohl in Form von Software als auch im Sinne nachzurüstender Hardware/Sensorik/Aktorik,
- Systeme, die den erhöhten Anforderungen an die Transparenz hinsichtlich ihrer Betriebsmodi und -parameter gerecht werden, sowohl für die Darstellung im Fahrzeug als auch zur Weitergabe an externe Systeme,
- Ganzheitliche Architekturen im Fahrzeug für Energiebedarfsmanagement und -reduktion unter Verwendung energieoptimierter und -optimierender eingebetteter Systeme,
- Lösungen, die zur vollständigen Nachvollziehbarkeit der für die Herstellung, Nachrüstung und den Betrieb der Fahrzeuge verwendeten Materialien und Energiemengen sowie der dabei anfallenden oder entstehenden Schadstoffe und sonstigen Emissionen (z. B. Lärm) beitragen und
- Fahrzeuge, die für den Einsatz als integrierter Bestandteil einer multimodalen Verkehrskette und für die geteilte Nutzung vielfach wechselnder Nutzer geeignet sind.

Konkrete Ziele

4.1.5 UMGANG MIT BESCHRÄNKTEN RESSOURCEN

Während die zunehmende Verknappung fossiler Rohstoffe als Energieträger seit Jahrzehnten im Bewusstsein der Öffentlichkeit (z. B. in Deutschland) verankert ist und auch technologisch entsprechend darauf reagiert wird – auch und vor allem weil durch die Einsparung dieser Rohstoffe gleichzeitig ökologische und ökonomische Ziele verfolgt werden, Stichworte „Green Energy“, „Green Mobility“, „Green IT“ – wurde die Verfügbarkeit anderer Rohstoffe (z. B. Metalle) relativ wenig thematisiert. Zwar wird auch hier aus ökologischen und ökonomischen Gründen eine hohe Recyclingquote angestrebt, trotzdem ist die Deckung des kompletten Bedarfs nur aus Recycling nicht möglich.

*Wirtschaftliche
Emanzipation klassischer
Förderländer*

Erst in den letzten Jahren wurde evident, dass als Folge der Globalisierung, der wirtschaftlichen Emanzipation klassischer Förderländer von Produzenten zu Verbrauchern bei gleichzeitiger politischer Instabilität bestimmter Regionen, viele Jahre als „Commodity“ gehandelte Rohstoffe nur mehr sehr teuer oder überhaupt nicht mehr zu bekommen sind. Das betrifft zum einen klassische Industriemetalle, wie etwa Kupfer. Die Nachfrage für den Ausbau der Infrastruktur in Schwellenländern treibt hier die Preise. In einem noch viel höheren Maß gilt dies jedoch „Technologie-Metalle“ wie etwa Lithium (das ja auch im Rahmen der Elektromobilität steigende Bedeutung erlangt), Edelmetalle (z. B. für Katalysatoren) oder seltene Erden (z. B. für leistungsfähige Magnete in Motoren).

*Technologie-Metalle, Edel-
metalle und seltene Erden*

Diese Technologie-Metalle werden zwar nur in vergleichsweise kleinen Mengen gebraucht, werden jedoch auch nur in kleinen Mengen, in wenigen Ländern und oft mit hohem Energieeinsatz und großen Umweltisiken abgebaut. Bei vielen davon ist die Europäische Union komplett abhängig von Einfuhren. Zunehmend werden auch Politik und Industrie auf das Thema aufmerksam und versuchen aktiv die Versorgungslage zu überwachen und Strategien zu entwickeln. Die 14 für die EU kritischsten Rohstoffe¹⁸ gehören fast durchweg der Gruppe der Technologie-Metalle an, von denen im besonderen Maße auch die Automobilindustrie abhängt. Ein hoher Anteil dieser Rohstoffe wird in Staaten gefördert, deren politische Systeme sehr fragil sind oder die in instabilen Weltregionen liegen¹⁹.

¹⁸ [EUKomm2011]

¹⁹ [Brok2011]





Die Technologie- und Produktentwicklung, speziell in der Automobilindustrie, geht momentan nur sehr punktuell (etwa bei der Entwicklung von Magneten und Motoren ohne seltene Erden) an diese Problematik heran. Notwendig wäre ein ganzheitlicher Ansatz, der bereits bei der Grundlagenforschung und der Technologieauswahl gezielt diejenigen Lösungen sucht und auswählt, die die Abhängigkeit von diesen Technologiemetallen reduzieren. Neben der Suche nach Alternativlösungen zu bestehenden Systemen (z. B. zu Katalysatorsystemen basierend auf Platinmetallen) beinhaltet dies Konzepte für eine höhere Wiederverwendbarkeit, verlängerte Lebensdauer (z. B. neues Auto – alter Katalysator) oder Zweitnutzung (z. B. alte Elektromobilitäts-Batterie als Puffer im Haushalt, vgl. 4.1.4 und 4.1.1). Gerade auch im Bereich der eingebetteten Systeme, der Sensorik und Elektronik, kommen sehr viele Technologiemetalle zum Einsatz. Auch hier ist gezielte Forschung nach Ersatztechnologien notwendig.

4.1.6 DIGITAL SOCIETY

Die Digitalisierung unserer Gesellschaft wird ein wesentlicher Gestalter zukünftiger Automobile sein. Die Bundesregierung adressiert in ihrer Hightech-Strategie zahlreiche Maßnahmen um die Transformation in eine digitale Gesellschaft zu begleiten²⁰. Die Grenzen und Randbedingungen werden dabei nicht primär von der digitalen Welt bestimmt: Bandbreiten, Abdeckungen, Qualität von Diensten (Quality of Service) oder Rechen- und Speicherressourcen werden in quasi unbegrenzter Form zur Verfügung stehen. Aber in dem

Zuge, in dem die „Digital Natives“, d.h., die Generationen, die mit ständiger Präsenz und Erreichbarkeit in sozialen Medien aufgewachsen sind, zu Endkunden oder Nutzern werden, werden sich auch die Erwartungen an die Funktionalität von Fahrzeugen ändern und neue Anforderungen entstehen. Dies hat verschiedene Implikationen für die Ausgestaltung und den Entwurf von eingebetteten Systemen im Automobil.

Die Kunden werden erwarten, dass sich die Nutzung von Automobilen nahtlos mit ihrem „Digital Lifestyle“ vereinbaren lässt. Diese Anforderung geht weit über die Integration von Smartphones in die Fahrzeuge und den Zugriff auf Playlisten, Adressbücher, Twitter und Facebook etc. hinaus. Aktuelle Produkte oder Entwicklungsprojekte wie die Brille „Google Glass“ oder die Armbanduhr „Apple Watch“ von Apple zeigen, dass die zukünftigen mobilen Endgeräte noch stärker als Smartphones zu ständig vorhandenen „digitalen Begleitern“ werden, die eine wirklich permanente Verbindung mit dem Netz ermöglichen („always on“) und in verschiedenste Prozesse und Interaktionen im täglichen Leben integriert sind („Digital Identity“). Diese Integration muss sich im Fahrzeug nahtlos, d.h. ohne Medienbruch fortsetzen. Die Nutzer solcher Geräte würden es nicht akzeptieren, wenn sie sich für die Nutzung von Autos neu anmelden, andere Benutzerschnittstellen (HMI) verwenden oder Einschränkungen hinsichtlich Erreichbarkeit und Zugang zu Daten und Diensten hinnehmen müssten. Die erlebbaren Funktionalitäten und Servicelevels müssen den Erfahrungen aus anderen Alltagskontexten entsprechen.

Reduktion der Abhängigkeiten

Digital Natives als Endkunden

Digitale Identität im Fahrzeug

²⁰ [BMBF2014]

„Bring your own device“

Security und Privacy

Eine Konsequenz wird sein, dass zukünftige Automobile viel stärker als bisher Geräte, Standards und von marktdominierenden Unternehmen erzeugte Kommunikations- und Unterhaltungselektronik (in Zukunft besser: der „Personal-IT“) integrieren müssen. Das Schlagwort BYOD („Bring your own device“), das sich bisher vor allem auf Office- und Business-IT bezieht, wird kurzfristig auch für das Infotainment und mittelfristig für fahrzeugtechnische Funktionen im Fahrzeug gelten. Daraus erwachsen verschiedene Herausforderungen. Eine davon ist die Sicherstellung von Security und Privacy trotz der vielfältigen Schnittstellen und Datenzugriffe. Dies betrifft nicht nur den Schutz privater Daten, sondern auch die Möglichkeit der Manipulation von Fahrzeugfunktionen über die neuen Verbindungen. Auch Anforderungen bezüglich funktionaler Sicherheit erhalten eine neue Qualität, da es nicht ausreichen wird, wie bisher eine eingeschränkte Menge von Interaktionsmöglichkeiten beim HMI-Entwurf bindend festzulegen. Die digitalen Begleiter werden vielfältig sein, sich ändern und neue Funktionen und Applikationen bieten, sodass ihre Integration in das Fahrzeug ständig angepasste Lösungen in dem Spannungsfeld „Ablenkung des Fahrers“ vs. „Nahtlose Integration der digitalen Identität“ erfordern.

Unterschiedliche Innovations- und Produktgenerationszyklen

Eine weitere Herausforderung im Zuge der beschriebenen Konvergenz von Fahrzeug-IT und Personal-IT sind die unterschiedlichen Innovations- und Produktgenerationszyklen in den beiden Bereichen. Zum Beispiel liegt die Modellfrequenz bei Smartphones aktuell bei über einer Generation pro Jahr. Um dem Endkunden eine schritthaltende Integration zu ermöglichen, müssen entsprechende Anpassungen und Updates während der ganzen Fahrzeuglebensdauer – also „after-sales“ – vorgenommen werden können. Das heißt, die Fahrzeug-IT wird in Zukunft wesentlich häufiger und kundengetriebener erneuert oder durch nachgeladenen „Apps“ ergänzt werden, mit allen Implikationen für die genannten Herausforderungen hinsichtlich Safety, Security und natürlich Zuverlässigkeit des Gesamtsystems Fahrzeug.

Funktionsanpassung und -nachrüstung

Diese Anpassung an den Digital Lifestyle der Endkunden wird aber auch funktionale Vorteile bieten. Auf der Basis der Integration von digitalen Endgeräten und des einfachen, abgesicherten Updates von Fahrzeugsoftware werden sich zum Beispiel Individualisierungen von Automobilen (vgl. 4.1.1) sehr viel effizienter durchführen lassen. Auch die bedürfnis- und fähigkeitsangepasste Unterstützung aller Verkehrsteilnehmer (vgl. 4.1.1 und 4.1.7) wird damit einfacher möglich (z. B.

Zunehmende Varianz in den Fähigkeiten und Fertigkeiten der Autofahrer

durch nachladbare Apps für passende Assistenzsysteme oder zur Überwachung von Vitalfunktionen). Die Konvergenz von Fahrzeug-IT und Personal-IT sollte daher nicht als Risikofaktor sondern als Enabler wahrgenommen werden.

4.1.7 DEMOGRAFISCHER WANDEL

Unter dem Begriff Demographischer Wandel versteht man die Veränderung der Alterspyramide vor allem in den westlichen Industrienationen Europas, in Nordamerika oder Japan. Ursache dafür ist die höhere Lebenserwartung der Menschen bei einer sinkenden Geburtenrate. Dies führt zu einer stärkeren Alterung der Gesellschaft und zur Zunahme des Anteils von älteren im Vergleich zu jüngeren Menschen. Daneben ist durch eine Sterberate, welche höher als die Geburtenrate ist, ein allgemeiner Bevölkerungsrückgang zu beobachten. Somit gibt es in diesen Ländern insgesamt weniger, dafür aber durchschnittlich ältere Menschen.



Durch die Alterung der Gesellschaft werden in diesen Regionen in steigendem Maße ältere Menschen als Autofahrer am Verkehr teilnehmen. Durch möglicherweise altersbedingte Einschränkungen, z. B. der Hör- oder Sehfähigkeit oder des Reaktionsvermögens, gibt es eine zunehmende Varianz in den Fähigkeiten der Autofahrer. Insgesamt ist eine fähigkeitsangepasste Unterstützung für Menschen mit körperlichen Handicaps notwendig, um die Mobilitätsbedürfnisse von alternden Gesellschaften angemessen zu bedienen.

Durch eine entsprechende Unterstützung des Fahrers kann das Unfallrisiko reduziert und auch älteren Menschen eine längere und aktivere individuelle Mobilität ermöglicht werden. Die Mobilitätsbedürfnisse einer alternden Gesellschaft erfordern, dass durch Fahrerassistenzsysteme in jeder Fahrsituation eine vollständige Beherrschbarkeit derselben gegeben ist. Wichtig ist dabei, dass das Bild des technischen Systems von der Realität mit dem entsprechenden Bild des Fahrers abgeglichen wird, damit die Reaktionen des Fahrzeugs und ggf. auch die Eingriffe in die Fahrt für den Fahrer nachvollziehbar sind, was wesentlich zur Akzeptanz der Assistenzsysteme beiträgt.

Wenn die Menschen in der Gesellschaft – zumindest in den oben angeführten Ländern – durchschnittlich älter werden, ist davon auszugehen, dass auch die Nachfrage nach Fahrzeugen seitens einer älteren Kundschaft steigt. Dadurch stellen sich andere Anforderungen an Komfort und Funktionalität der Neuwagen. In der Regel stehen mit zunehmendem Alter eher die einfache und komfortable Bedienung, höhere Sitzposition, einfacher Ein- und Ausstieg oder Beladung sowie ein sparsamer Verbrauch im Vordergrund

als Aspekte wie Sportlichkeit oder jugendliches Design. Mit dem Trend zur Individualisierung des eigenen Fahrzeugs ergibt sich daher, dass bei der Konfigurierbarkeit die Bedürfnisse älterer Menschen stärker berücksichtigt werden müssen.

Der demographische Wandel hat zudem Auswirkungen auf die Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer in der Entwicklung und Produktion von Fahrzeugen. Die Arbeitsbedingungen müssen auf ältere Arbeitnehmer angepasst werden, was z. B. durch eine bessere Unterstützung bei körperlich anstrengenden Tätigkeiten oder durch einen intensiveren Gesundheitsschutz umgesetzt werden kann. Das Ausscheiden von älteren Arbeitnehmern führt zu Knowhow-Verlust in den Unternehmen. Diesem muss durch eine bedarfsorientierte Aus- und Weiterbildung von Fachkräften entgegen gewirkt werden. Wenn es zusätzlich noch weniger junge Arbeitnehmer gibt, die in den Beruf einsteigen, wird sich der bereits existierende Fachkräftemangel noch verstärken. Um dem Fachkräftemangel zu begegnen, müssen daher zunehmend neue Arbeitnehmerpotentiale, wie z. B. junge Frauen, Arbeitnehmer mit Migrationshintergrund und Immigranten, erschlossen werden.

Anforderungen an Komfort und Funktionalität



4.2 ENTWICKLUNGEN UND TRENDS IN INDUSTRIE UND WISSENSCHAFT

Neben den in Kapitel 4.1. dargestellten Entwicklungen in Gesellschaft und Markt („Market Pull“) spielen weitere Entwicklungen und Trends eine wesentliche Rolle als Treiber für zukünftige Entwicklungen in der Automobilindustrie. Neben der Entwicklung neuer Technologien und Funktionalitäten („Technology Push“, Kapitel 4.2.1) gehören hierzu die Entwicklungen in anderen Technologiedomänen – hier insbesondere der Telekommunikations- und Unterhaltungselektronik- sowie der Softwarebranche – die neue Herausforderungen und Möglichkeiten für die Nutzungsphase von Automobilen entstehen lassen (Kapitel 4.2.2). Weiterhin gehören hierzu die Auswirkungen der durch die Automobilindustrie selbst getriebenen Standardisierungsaktivitäten (Kapitel 4.2.3), neue und verbesserte Entwicklungsprozesse (Kapitel 4.2.4) sowie Änderungen im Verhältnis der OEMs zu den Zulieferern (Zulieferketten, Kapitel 4.2.5).

Steigende Komplexität der Funktionalität und des Entwicklungsaufwands

4.2.1 BEHERRSCHUNG (NEUER) FUNKTIONALITÄTEN UND TECHNOLOGIEN

Die Beherrschung von neuen Funktionalitäten und Technologien ist ein wichtiger Baustein für Industrie und Wissenschaft, da sich mit ihrer Erschließung neue Möglichkeiten in der Softwareentwicklung und Funktionsdarstellung ergeben. Darüber hinaus kann sich

auch ein entscheidender Wettbewerbsvorteil für OEMs, Zulieferfirmen und Dienstleistungsbetriebe am Markt ergeben.

In den nächsten Abschnitten wird nun auf diese neuen Funktionalitäten und Technologien in Verbindung mit den folgenden Schwerpunkten näher eingegangen:

- Zunahme der Komplexität und Vernetzung von eingebetteten Software-Systemen
- Weiterentwicklung des Internets
- Einfluss der Hardwareentwicklung und Halbleiterindustrie
- Wirkungen der IT-Märkte

Es zeigt sich, dass die Komplexität von eingebetteten Software-Systemen in Zukunft weiter zunehmen wird, sei es in der Funktionalität und Funktionsdarstellung als auch vom Entwicklungsaufwand her betrachtet. Der Innovationstreiber Software stellt hier neue Herausforderungen an die Leistungsmerkmale, Entwicklungsprozesse und -methoden. Als ein aktuelles Beispiel sei hier die Fußgängererkennung aufgeführt, welche aus einer vielschichtigen Umweltumgebung in Echtzeit die notwendigen Informationen extrahieren und eine passende Entscheidung ableiten muss. Die Komplexitätssteigerung betrifft jedoch nicht nur die eingebet-



teten Systeme an sich, sondern auch die hochgradige Vernetzung im Fahrzeug und der sich daraus ergebende hohe Informationsaustausch. Durch die Verteilung von Funktionalitäten auf verschiedene Systeme bzw. Steuergeräte ergibt sich ein weiterer zusätzlicher Kommunikationsbedarf. Neben der Übertragung von Nutzdaten leiten sich Anforderungen betreffend der Synchronisation und Ablaufkontrolle von allen Teilfunktionalitäten in diesen verteilten Systemen ab. Zusätzlich zur fahrzeuginnen Vernetzung wird in Zukunft auch die externe Vernetzung eine immer bedeutendere Rolle spielen. Von der reinen Interaktion via „Car-2-Infrastructure“ und „Car-2-Car“ erweitert sich das Themenfeld hin zu kooperativen Systemen. Motiviert durch den Gedanken „always on – always connected“ ergeben sich in Verbindung mit der IT-Welt völlig neue Anwendungsgebiete (vgl. auch 4.1.6). Vorhandene Fahrzeug- oder Fahrerdaten werden an einen zentralen Rechner übermittelt, welcher diese verarbeitet und auswertet. Dadurch können die Berechnung und Optimierung unter Berücksichtigung

vieler unterschiedlicher Datenarten durchgeführt und an die Fahrzeuge zurückübertragen werden, z. B. zur Optimierung des Verkehrsflusses. Ergänzend zu den funktionalen Aspekten werden Anforderungen an Security/Privacy und deren Sicherstellung hinsichtlich der Fahrzeuge, Übertragungskanäle und Serverstrukturen eine sehr zentrale Rolle spielen. Um in dieser immer weiter zunehmenden Vielschichtigkeit den Überblick zu behalten, werden standardisierte Middleware-Schichten benötigt, mit dem Ziel, im Design und der Implementierung von den Schnittstellen entsprechend abstrahieren und auf Fehler-/Störfälle angemessen reagieren zu können. Weiterhin sind ergänzend dazu neuartige Methoden, Prozesse und Tools unumgänglich, um der Softwareentwicklung die notwendige Unterstützung zu bieten (vgl. 4.2.4).

Ein weiterer Trend ist die Entwicklung des Internets hin zum „Internet of Things“, in dem reale Objekte in die virtuelle Internetwelt gespiegelt werden. Gegenstände der physischen Welt sind darin eindeutig identifizierbar und stellen über die abstrakte Datenverbindung bestimmte Services und Funktionen zur Verfügung. Beispielsweise kann so die Hausbeleuchtung über das Smartphone gesteuert und zusätzlich der aktuelle Stromverbrauch abgelesen werden. Das Fahrzeug könnte sich ebenfalls als Gegenstand in der virtuellen Welt darstellen und bestimmte Services oder Attribute zur Verfügung stellen. Projiziert man diesen Gedanken auf die interne Vernetzungsebene des Fahrzeugs, so könnten auch intelligente interne Bauteile in das „Internet der Dinge“ integriert werden. Das Automobil wird dadurch mit allen Sensoren und elektronischen Bestandteilen ein Subnetzwerk des neuen Internet. Diese aktuelle Entwicklung zeigt sich äquivalent auch in der Gesellschaft, hier sei auf das Kapitel 4.1.6. „Digital Society“ verwiesen.

Als zusätzliche Herausforderung rücken auch neue Plattformen und Anwendungsmodelle immer mehr in den Fokus, z. B. auf Basis von Multicore-Architekturen. Diese Entwicklung aus der PC-Domäne mit mehreren Rechenkernen pro Chip erhält vermehrt Einzug in die Welt der eingebetteten Systeme. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit Steuergeräte mit höherer Rechenleistung auszustatten, um komplexere Algorithmen zu integrieren und auch parallel zu rechnen. Oder aber – wie in den Szenarien in Kapitel 5 dargestellt – dass sich im Vergleich zur Singlecore-ECU mehr Softwarefunktionalitäten auf einem Multicore-Chip zusammenfassen lassen. Betrachtet man weitere Anforderungen wie Safety und Reliability an die Software, ergibt sich bei

Hochgradige Vernetzung im Fahrzeug und zwischen Fahrzeug und Umgebung als Voraussetzung für kooperierende Systeme

Fahrzeuge integriert ins Internet der Dinge

Neue Plattformen und Anwendungsmodelle



dieser Hardwareplattform die Option, Applikationen mit unterschiedlichen Anforderungen daran auf ein Steuergerät zu integrieren (mixed criticality). Allerdings ergeben sich durch die auf multi-core Systemen entstehenden Interferenzen zwischen Tasks auf unterschiedlichen Cores auch signifikante Herausforderungen für die Sicherheitsnachweise. Unterstützt werden multi-core Applikationsentwicklungen durch Techniken wie Sandboxing und Virtualisierung. Ein ergänzendes und zudem wichtiges Thema für solche hochkomplexen Systeme ist die Sicherstellung der Analysier- und Diagnostizierbarkeit über ein entsprechendes Tooling für Debugging und Tracing. Die unterschiedlichen Funktionalitäten im Zuge der Hochintegration können nun auch aus unterschiedlichen Automotive-Domänen stammen. Als Beispiel sei hier eine Applikation aufgeführt, welche als Fahrerassistenzfunktion in das Motorsteuergerät (Powertrain) mit integriert wird. Um die Integration in diesem Fall erfolgreich durchführen zu können, müssen die Schnittstellen nach Prozessen akribisch definiert und bereichsübergreifend abgestimmt sein. Den Software-/Systemarchitekten und -integratoren kommen so sehr tragende und zentrale Rollen zu. Diese sind zudem beim Entwurf von Produktlinien essentiell, um im Zuge der fortgeschrittenen Modulstrategie den Überblick zu behalten und das Software-Deployment auf unterschiedliche (Hardware-)Plattformen optimal zu gestalten. Trägt man nun das Konzept der Hochintegration unter Berücksichtigung der schnellen Marktentwicklung in die Zukunft weiter, so ergeben sich im ersten Schritt Systeme, in denen die Softwarefunktionen im Zuge einer dynamischen Softwarekonfiguration verwaltet werden, z. B. über ein prioritätenbasiertes Scheduling. Über die Virtualisierungstechnologie ist eine Abgrenzung zu dem statischen Bereich für z. B. sicherheitskritische Funktionen realisierbar. Der nächste Schritt geht in die Richtung von verteilten, hochdynamischen und mitunter auch rekonfigurierbaren „Systems of Systems“, in denen die Ressourcen, Tasks und Services flexibel und optimal über einzelne Systemgrenzen hinweg, mitunter auch situationspezifisch, zugeteilt werden. Hierfür werden wiederum völlig neue Methoden und Prozesse für die Softwareentwicklung notwendig sein.

Dem entgegen steht der Trend der energiesparenden Architekturen. Zum Ansteuern der Energiesparmodi ist es von Relevanz, dass durch Algorithmen und Softwareumsetzungen entsprechende Prozessorbefehlsätze ermöglicht werden. Dies wiederum setzt voraus, dass nicht nach dem Grundsatz „alles, was möglich ist“, sondern „alles, was nötig ist“ entwickelt wird. Es wird

hier explizit von gesamten Entwicklungsprozess gesprochen, da hier alle Phasen der Software- (und Hardware-)entwicklung mit einbezogen werden müssen. Hierzu ist es erforderlich, die Entwicklungsmethoden zusammen mit den Entwicklungswerkzeugen so anzupassen, dass hier eine ganzheitliche energiesparende embedded systems-Architektur entsteht.

Die unterschiedlichen Märkte mit den jeweiligen Trends und individuellen Produktzyklen (vgl. 4.1.6) stellen sich ebenfalls als bedeutendes Zukunftsthema dar. Vor allem die Unterhaltungselektronik-Industrie entwickelt und treibt neuartige Hardware-Konzepte und deren Komponenten. Als Beispiele seien hier Spezialprozessoren, Smart Sensors etc. aufgeführt, deren Entwicklung sich am hochdynamischen und schnelllebigsten Markt nicht in allen Aspekten kontrollieren lässt. Außerdem ist die Nachhaltigkeit der Teilebereitstellung im Unterhaltungselektronik-Bereich nicht so geregelt,



wie dies im Automotive-Umfeld vorausgesetzt wird. Eine offene Frage ist daher, wie man mit dem Wettbewerb und der Dynamik in den unterschiedlichen Hardware-domänen umgeht, um am technologischen Puls der Zeit anzuknüpfen und diese Märkte für die Automobilindustrie auch zu nutzen. Als Folge dieser massiven Technologiesprünge im IT- und Unterhaltungselektronik-Bereich ergeben sich inkompatible Lebenszyklen im Vergleich zur klassischen, eher konservativen Welt der eingebetteten Systeme. Im Fahrzeug betrifft dies hauptsächlich die IT-nahen Bereiche Komfort und Infotainment, in Verbindung mit dem Smartphone ebenfalls die Welt der fahrzeugorientierten Apps. Die vergleichsweise kurzen Innovationszyklen im IT- und Unterhaltungselektronik-Bereich sind mit den anderen



Domänen nahe den eingebetteten Systemen kaum synchron zu halten. Wurde eine Funktion in Verbindung mit einer Plattform fertig entwickelt, sind diese bei Produktionsstart quasi schon veraltet. Trotzdem müssen jene auf aktuelle Technologien erweiterbar und anpassbar sein und z. B. mit der neuesten App- und Backend-Technologie kommunizieren können. Diese Entwicklung führte dazu, dass verschiedene Teilkomponenten der Fahrzeuge mit einer immer kürzeren und asynchronen Einführungszeit (Time-to-Market) in Serie zu bringen sind. Daraus können sich Kompatibilitätsprobleme ergeben, aber auch Kundenansprüche, immer die neuesten Technologien im Fahrzeug zu haben (vgl. 4.1.6). Um mit dieser Thematik, zumindest teilweise umgehen zu können, ergibt sich die Anforderung Softwareupdates automatisch per Download auf die eingebetteten Systeme integrieren zu können. Weiter kann über die Funktion „Software als Produkt“ eine komplette (Teil-)Funktionalität vom Kunden gekauft und nachgeladen werden. Als Schnittstellen können WLAN als auch Mobilfunkinterfaces verwendet werden.

Für den Updateprozess an sich als auch für die korrekte Funktionalität der Gesamtsoftware danach zeichnet sich der OEM verantwortlich. Das Verfahren muss weiterhin die notwendigen Anforderungen erfüllen, damit dies den Kriterien einer Zertifizierung gerecht wird. Prädestiniert ist das Thema besonders für Komfort- und Infotainment-Funktionalitäten, sicherheitskritische Software benötigt ein Vielfaches mehr an zusätzlichen Absicherungen. So bieten sich über die Kundenfeatures Aktualität und flexible Erweiterungsoptionen darüber hinaus die Möglichkeiten, im Fahrzeug einen Mehrwert gegenüber den sogenannten „Standard Unterhaltungselektronik“-Komponenten zu erzielen, in denen nur festgelegte Updates der einen gekauften Funktionalität verfügbar sind. Eine weitere Möglichkeit den Kompatibilitätsproblemen und unterschiedlichen Produktzyklen zu begegnen, ist die Modularisierung auf Ebene der Hardware. Damit kann eine modulare Hardwarearchitektur ermöglicht werden, um gezielt einzelne Baugruppen in den Entwicklungsphasen oder im Serieneinsatz gegen aktuellere und leistungsfähigere Hardware austauschen zu können. Der nächste logische Schritt ist die Standardisierung von Hardwarekomponenten, um die Entwicklungs- und Absicherungskosten herstellerübergreifend aufteilen zu können. Diese beiden Punkte tangieren natürlich auch die Bereiche Sales-Management und After-Sales-Market, in denen sich über diesen Weg völlig neue Geschäftsmodelle erschließen lassen.

Mehrwert gegenüber Standard Consumer Electronics

Zusammenfassend lässt sich erkennen, dass die Entwicklung von eingebetteten Systemen nicht mehr nur von den Softwaretechnologien an sich abhängt. Einflüsse der IT-Märkte und Halbleitersparten sowie die rasante Evolution des Internet müssen nun in die Betrachtungen der Software-Ingenieure hinsichtlich neuer Funktionalitäten und Technologien ebenfalls mit einbezogen werden.

4.2.2 NACH VERKAUF / IM FELD

In der Nutzungsphase nach dem Erwerb kann ein Kunde oder Fahrzeugführer eine Reihe von Dienstleistungen rund um das Fahrzeug in Anspruch nehmen bzw. erwartet er diese zunehmend. Neben klassischen Diensten wie Diagnose und Wartung fallen zunehmend auch kontinuierliche Angebote der Hersteller darunter, welche IT-basierte Dienstleistungen im Fahrzeug anbieten. Hierzu zählen beispielsweise Infotainment-Lösungen, wie Navigation, Kommunikations- oder Datendienste (vgl. vorangegangenen Abschnitt 4.2.1). Es ist zu erwarten, dass auch zunehmend Zulieferer und Drittanbieter diesen Markt für sich entdecken.

IT basierte Dienstleistungen während der Nutzungsphase werden zunehmend auch von Zulieferern und Drittanbietern angeboten werden.

*Anpassung und Ersetzung
von Diensten*

Die raschen Innovationszyklen der Telekommunikations- und Unterhaltungselektronikbranche führen dabei zu einer entsprechenden Erwartungshaltung der Kunden, diese Funktionen im Fahrzeug in gleicher Aktualität und Leistung verfügbar zu haben und diese gegebenenfalls zu aktualisieren bzw. auszutauschen (vgl. 4.2.1). Leistungsfähige mobile Geräte stellen dabei eine Konkurrenz dar, bieten jedoch auch Chancen einer Integration und Koexistenz. Neben einer austauschbar gestalteten Hardwareplattform bietet insbesondere die Software im Fahrzeug Möglichkeiten, einzelne Funktionen und Dienste flexibel anzupassen oder zu ersetzen (App-Konzept). Dieser Aspekt kann auch zu neuen Geschäftsmodellen führen, bei denen neue Leistungsmerkmale leicht nachgerüstet werden oder gemäß ihrer Nutzung bezahlt werden.

Rekonfiguration

Funktional bietet Software eine Option der flexiblen Rekonfiguration von Produkten im Feld. Dies kann einerseits zur Anpassung gegenüber einer veränderten Umwelt führen, beispielsweise bei der Optimierung einer Fahrstrategie eines Automatikgetriebes, andererseits zur Wahrung der Interoperabilität des Fahrzeugs mit seinen zunehmenden Schnittstellen zur Außenwelt, z. B. einer intelligenten Verkehrsinfrastruktur. All diese Möglichkeiten dienen nicht zuletzt der Investitionsunsicherheit der Plattform „Automobil“.

Standardisierte Schnittstellen zur Infrastruktur

Zwar reichen die Produktzyklen von PKW nicht an die von vielen Investitionsgütern heran, jedoch wird für Hersteller und Zulieferer gerade durch die schnellen Entwicklungsschritte in der Elektronik (vgl. 4.1.6) das aktive Obsoleszenz-Management immer wichtiger. Über entsprechende Hardware-Abstraktionsschichten lassen sich Effekte abgekündigter Bauteile zwar verrin-

Obsoleszenz-Management

gern. Von den Virtualisierungsmöglichkeiten, wie sie beispielsweise in der Automatisierungstechnik angewandt werden, ist man jedoch noch weit entfernt.

4.2.3 STANDARDS UND STANDARDISIERUNGEN

Standardisierung ist für die Automobilindustrie von essentieller Bedeutung. Zwei wesentliche Treiber sind erkennbar:

- Fokussierung der Wertschöpfung der Automobilhersteller auf durch den Fahrer erlebbare Funktionen
- Verstärkte Integration der Fahrzeuge in Infrastruktur- und andere umgebende Systeme

Die Komplexität der Fahrzeuge und der in ihnen verbauten Systeme steigt kontinuierlich. Wettbewerbsfähig werden die Automobilhersteller durch die Beherrschung dieser hohen Komplexität nicht nur in den Systemen selbst, sondern noch mehr in den Entwicklungs- und Produktionsprozessen. Zusammen mit Anforderungen an eine verkürzte Time-to-Market und der steigenden Variantenvielfalt ergibt sich vor allem auch ein Kostendruck, dem durch Re-use und Standardisierung begegnet werden soll. Grundlegende Technologien für den Aufbau der Systeme werden daher standardisiert, um Komponenten und Entwicklungsleistung wieder verwenden zu können.

Aus Sicht der Kunden ist es hochgradig wünschenswert, dass die mobilen Funktionen aus dem elektronischen Alltag im Automobil ebenfalls sind (vgl. 4.2.1 und 4.2.2). Proprietäre Lösungen einzelner Automobilhersteller erzeugen in der Regel hohe Folgekosten für die Weiterentwicklung und Pflege. Standardisierte Schnittstellen zur Infrastruktur erlauben hier den einfacheren Austausch und die Anbindung von Fahrzeugen an umgebende Systeme. Die Standardisierung beschränkt sich zurzeit auf nicht wettbewerbsrelevante Aspekte wie Schnittstellen und Basisarchitekturen für Systemsoftware (vgl. AUTOSAR Basic SW) oder auch Absicherungsarchitekturen (etwa e-Gas-Architektur). Für die Integration von Fahrzeugen in globale Dienste ist jedoch davon auszugehen, dass für einen marktweiten Einsatz die genutzten Dienste standardisiert werden müssen. Erste Beispiele finden sich etwa bei SimTD²¹, wo die Interaktion von Fahrzeugen unterschiedlicher Marken über



²¹ [SimTD]



standardisierte Dienste realisiert wurde. Die Standardisierung von reinen on-board Funktionen scheint auch künftig nicht zielführend, wenn die Funktionen bereits in unterschiedlichen Varianten realisiert sind. Der Aufwand einer Abstimmung auf eine gemeinsame, neue Realisierung ist in der Regel nicht gerechtfertigt. Die Standardisierung von Anwendungsfunktionen wird daher meist entwicklungsbegleitend vorgenommen werden.

Beispiele für die Standardisierung innerhalb der Automobilelektronik sind etwa:

- CAN, FlexRay, LIN – Busprotokolle für die Kommunikation von Steuergeräten
- AUTOSAR – Architektur und Komponenten für die Basissoftware von Steuergeräten
- C4E – Integration von Consumer Electronics in Fahrzeuge
- ASAM / ODX – Datenformate für Diagnosedaten
- Genivi – Plattform für die Realisierung von Infotainment-Systemen
- NDS – Datenbanken für Navigationssysteme
- ISO/IEC 15118 / IEC 61851 – Ladesysteme für Elektrofahrzeuge
- ISO 26262 – Funktionale Sicherheit in Kraftfahrzeugen
- Ethernet – OPEN Alliance, IEEE für RTPGE (Reduced Twisted Pair Gigabit Ethernet)

Neben den branchenspezifischen Standards finden schon immer auch reine IT-Standards Anwendung

- Ethernet – als breitbandiges Busprotokoll für Diagnose und Fahrzeugkommunikation
- XML und spezifische Schemata – Metaformat zur Datenbeschreibung
- Eclipse – ein Quasi-Standard zur Erstellung von Entwicklungswerkzeugen

Mit der steigenden Integration von Fahrzeugen in internetbasierte Systeme werden künftig auch IT-Standards vermehrt relevant werden. Anwendungsfelder, in denen Automotive Software auf bewährte IT-Standards zurückgreifen wird, sind beispielsweise Standards zu Connected Services, zur Integration in eine Cloud, zu Anwendungen in der Kryptografie oder dem Trusted Platform Computing mit Digital Rights Management.

Zukünftig wird die Automobilindustrie auch den Bereich der Entwicklungsprozesse zu einem maßgeblichen Teil vereinheitlichen. Die von AUTOSAR vorgeschlagene Entwicklungsmethodik legt grundsätzliche Phasen der Entwicklung fest und gibt Formate für die Beschreibung von Systemen, Komponenten und Steuergeräten vor. Interoperabilität von Entwicklungswerkzeugen wird den Austausch von Entwicklungsartefakten verbessern und die Entwicklung beschleunigen. Mit der ISO 26262 wurde ein weiterer Standard geschaffen, der die Anforderungen an die Entwicklung sicherheitsrelevanter Funktionen vereinheitlicht. Auch

*Einheitliche
Entwicklungsprozesse*

in diesem Standard werden grundlegende Konzepte der System- und Softwareentwicklung vereinbart, die industrieweit Anwendung finden.

Standardisierung prägt die Entwicklung eingebetteter Systeme im Fahrzeug maßgeblich. Busprotokolle sind seit mehreren Jahrzehnten im Einsatz. AUTOSAR-Steuergeräte sind Stand der Technik. Ganze Produktlinien werden auf Basis von AUTOSAR entwickelt. Manche Firmen nutzen mittlerweile AUTOSAR als globale Plattform für alle Produkte. Die Standards zu Ladesystemen finden Einzug in Serienfahrzeuge seit 2013. Das breite Einsatzprofil zeigt, dass Standardisierung ein zentrales Element der Entwicklungsstrategien der Automobilhersteller und -zulieferer ist. Die Umsetzung der Standards wird mit Hochdruck vorangetrieben.

Eine wesentliche Herausforderung für die Automobilindustrie besteht darin, sich gegenüber den generellen IT-Standards zu positionieren. In welchem Umfang decken diese Standards auch den spezifischen Einsatzkontext automobiler System ab? Wie hoch ist der (Mit-) Gestaltungsspielraum der Automobilindustrie, um spezifische Anforderungen umsetzen zu können? Diese Standardisierungsstrategie kann sicher individuell von einzelnen Firmen definiert werden. Durchsetzungsfähig ist jedoch nur eine branchenweite Strategie.

4.2.4 ENTWICKLUNGSPROZESS

Die immer größer werdende Komplexität der Systeme stellt Entwicklungsbereiche vor vielfältige ökonomische wie technische Herausforderungen. Entwicklungsprojekte müssen mittlerweile Funktionen für eine Vielzahl von Fahrzeugvarianten realisieren und stehen dabei immer vor steigendem Kostendruck. Die Wiederverwendung bestehender bzw. die stufenweise Entwicklung neuer Funktionen ist hier eine vielversprechende Strategie. Die Erwartungen an eine hohe Qualität der Produkte treffen nicht nur Premiumhersteller. Vielmehr sind Hersteller mit hohen Stückzahlen erst recht auf die erfolgreiche Umsetzung von Qualitätsanforderungen angewiesen, da mit großen Serien auch die ökonomischen Risiken steigen. Weiterhin verschärft die Integration von Anwendungen aus dem Bereich der Konsum- und Unterhaltungselektronik die bereits weitreichenden Anforderungen an die verfügbare Zeit für Entwicklung und Absicherung von innovativen Fahrzeugfunktionen.

Die ökonomischen Herausforderungen an die Entwicklungsprozesse motivieren eine Vielzahl verschiedener technologischer Ansätze, die zu einer evoluti-

onären Umwälzung der bisherigen Vorgehensweisen führen wird. Herausragende Ansätze sollen an dieser Stelle kurz skizziert werden:

Modularisierung:

Ausgehend von traditionellen Plattformstrategien werden vermehrt kleinere Einheiten – sogenannte Module – als Einheit zur Wiederverwendung identifiziert. Module sind dabei in allen Domänen vom Fahrwerk über Antriebstrang bis hin zu Infotainment zu finden. Die Anzahl der verschiedenen Verbausituationen der Module erfordert eine hohe Flexibilität in deren Realisierung. Die entstehenden Varianten müssen geeignet charakterisiert und entsprechend abgelegt werden. Neben der Vermeidung von Varianten muss ein zentrales Variantenmanagement den Einsatz von Modulen herstellerweit koordinieren. Neben reinen Softwaremodulen, die Funktionen realisieren, werden auch Hardwaremodule im Sinne von standardisierten Steuergeräten Einsatz finden. Eine noch ungelöste Herausforderung für die Modularisierung besteht in der Handhabung unterschiedlicher Kontexte, in denen Module eingesetzt werden. Konzepte der Eigensicherung zur Laufzeit können etwa den Einsatz von Modulen in Systemen mit höheren Sicherheitsanforderungen rechtfertigen.

Agile Prozesse:

Die zwischen Hersteller und Zulieferer verteilte Entwicklung wird faktisch an vielen Stellen bereits in hoher Flexibilität und feingranularer Abstimmung durchgeführt, sowohl zeitlich wie auch inhaltlich. Das



klassische V-Modell dient oft noch als konzeptionelles Prozessmodell, beschreibt die effektiven Prozesse aber nur unzureichend. Bewährte Techniken und Ansätze aus der agilen Entwicklung können die notwendigen und häufigen Rückkopplungsschleifen in der verteilten Entwicklung formal erfassen und die notwendige Prozesssicherheit wieder herstellen. Gegebenenfalls kann die agile Entwicklung auch dazu beitragen, Anforderungen nach SOP (Start of Production; Produktionsstart), die etwa für After-Sales oder Modellpflegen umzusetzen sind, leichter auf einer bestehenden Codebasis umzusetzen. Traceability über die relevanten Entwicklungsartefakte ist als effektive Technik bereits bekannt und für die abgesicherte agile Entwicklung essentiell – gerade auch um die rechtlichen Anforderungen an eine Entwicklung zu erfüllen.

Virtuelle Systemintegration:

Die modellbasierte Entwicklung von Funktionalität und Steuergerätesoftware ist mittlerweile Stand der Technik. Mehrere Werkzeugketten haben sich am Markt etabliert, mit denen Code für Steuergeräte erzeugt werden kann. Die marktgängigen Werkzeugketten zeichnen sich durch eine Anwendungsspezialisierung in der Wahl der Sprachmittel aber auch in den Ansätzen zur Absicherung des generierten Codes aus. Eine Werkzeugkette zur Entwicklung von HMI-Anwendungen (Human-Machine-Interaction) wird kaum für die Erstellung von Reifendruckmesssystemen eingesetzt. In der Konsequenz finden sich sehr heterogene Modellfamilien mit einer speziellen Eignung für

unterschiedliche System- bzw. Funktionsklassen. Die große Herausforderungen einer Systemintegration verstärken sich noch dadurch, dass selbst die Integration innerhalb einer Modellfamilie sehr von den gewählten Abstraktionsebenen und Modellierungsstrategien abhängt, die etwa für eine horizontale Integration mehrerer Funktionen zu einem Gesamtfunktionsmodell angeglichen werden muss. Zum anderen sollen nicht-funktionale Aspekte in funktionale Modelle integriert werden, um etwa mit integrierten funktionalen und mechanischen Modellen die Auslegung von Reglern deutlich zu beschleunigen. Dazu müssen Schnittstellen zwischen Modulen für die unterschiedlichen funktionalen und nicht-funktionalen Aspekte in einer mehrdimensionalen Architektur definiert werden. Letztlich ist die Modellierung dynamischer Kontexte, wie sie etwa bei Car2X-Systemen auftreten, in der Modellierung eingebetteter Systeme im Automobil noch ungelöst. Die Funktionalität des eingebetteten Systems muss sich an wechselnde Kontexte anpassen können. Ein wichtiger Ansatz für die Bewältigung der mit der Integration entstehenden Komplexität ist die gesteuerte Abstraktion in Modellen sowie die frühzeitige Absicherung von Funktionen durch virtuelle (modell-basierte) Systemintegration. Aktuelle Forschungsprojekte zeigen auf, wie zunehmend auch nicht-funktionale Aspekte bei der virtuellen Systemintegration berücksichtigt werden können. Neue Ansätze werden auch die Integration eines Fahrzeugsystems in eine auch strukturell dynamische Umgebung simulativ untersuchen und absichern müssen.

Virtuelle Systemintegration



Interoperabilität:

Große Anstrengungen werden seit mehreren Jahren unternommen, um die breite Wiederverwendung von Entwicklungsdaten und -artefakten zu realisieren (vgl. auch 4.2.3). Definitionen von Datenformaten werden etwa durch AUTOSAR oder ASIM vorgelegt. Diese Vorgehensweise ist vielversprechend, weil zunächst ein Datenmodell standardisiert wurde, für welches dann in einem zweiten Schritt bestehende wie auch neue Werkzeuge erweitert bzw. neu entwickelt werden. AUTOSAR geht mit der Standardisierung von Schnittstellenformaten einen ersten Schritt und kann eine Plattform für die weitergehende Standardisierung von Datenformaten bieten. Die vielerorts geforderte lückenlose Integration steht mangels tragfähiger Standards jedoch noch aus, wird jedoch in Forschungsprojekten adressiert.

Ohne greifbare Lösungsansätze sind folgende Herausforderungen:

Prozessintegration:

Die Entwicklung von Systemen wird meist unter dem Aspekt Funktionalität und ihrer Absicherung vorangetrieben. Die unterschiedlichen Musterstände eines Systems sind durch aufeinander aufbauende Stufen von Funktionalität charakterisiert. Die Handhabung und Erreichung höher geordneter Qualitäten, wie etwa Sicherheit, Security, Energieverbrauch oder auch CO₂-Footprint, werden in parallelen Planungs- und Entwicklungsprozessen verankert. Die direkte Interaktion mit der Funktionsentwicklung wird unzureichend unterstützt.

Übernahme von Best Practices:

Die Entwicklung eingebetteter Systeme ist stark durch eine eigenständige Herangehensweise geprägt. Orientiert an den realen Herausforderungen der zu entwickelnden Systeme und den Randbedingungen in den Entwicklungsbereichen kann der Rückfluss von Best Practices des Mainstreams der System- und Softwareentwicklung deutlich verstärkt werden. Eine einfache Übernahme von Best Practices ist jedoch in der Regel nicht zielführend. Vielmehr müssen die erprobten Methoden auf den Kontext der Entwicklung angepasst werden. Technologien und Paradigmen mit einem hohen Potenzial für automotive Entwicklungsansätze sind etwa Open Source Software, Domain Specific Languages oder agile Entwicklung – alles etablierte Verfahren, deren Einsatz für automobiler Entwicklungen in lokalen Kontexten bereits erprobt wird. Die Schnittstelle zwischen Zulieferern und Herstellern



wird jedoch noch nach bewährten Verfahren gestaltet.

Neues Paradigma für die Erstellung von automotive Software:

Die klassische Softwareentwicklung erfährt regelmäßig eine Erneuerung der Programmierparadigmen. Die aktuelle Generation von Programmiersprachen hat Objektorientierung als konstitutives Element und erlaubt so eine Vielzahl von Erweiterungen, wie etwa Domain Specific Languages, die die Effizienz und Absicherung der Softwareerstellung deutlich steigern. In der Automotive-Domäne stellen die aktuellen Modelle für die Softwareentwicklung die dritte Generation dar, nach reinem Assembler und C-Code. Aufgrund der vielfältigen Einschränkungen wird sich eine nächste Generation entwickeln, die sicher auch modell-basierte Anteile enthalten wird.



4.2.5 ZULIEFERKETTEN

Spätestens seit Verabschiedung der ersten Fassung des AUTOSAR Industriestandards (vgl. 4.2.3) wandelt sich das Verhältnis Zulieferer – OEM für den Bereich eingebettete Systeme deutlich. Das vorherrschende Paradigma, eine bestimmte Funktionalität, z. B. Motorsteuerung, in genau einem Steuergerät unterzubringen, ist keine Selbstverständlichkeit mehr. Ein weit verbreitetes klassisches Modell der Zusammenarbeit war beispielsweise, dass ein Tier-1 ein Steuergerät liefert und damit die Verantwortung für diese Funktionalität hat. Der Tier-1 Zulieferer ist nicht mehr automatisch verantwortlich für „sein“ Steuergerät und die Software darauf. Durch die Loslösung von der mehr oder weniger starren Bindung von Funktionalität auf angestammte Steuergeräte wird Software zunehmend „heimatlos“. So können bestimmte Funktionen auf beliebigen Steuergeräten im Fahrzeug gerechnet werden, da sie ohnehin keine direkte Anbindung an Sensorik oder Aktorik haben oder diese unter Einhaltung aller Anforderungen (z. B. Echtzeitverhalten) auch über den Fahrzeugbus erfolgen kann.

Aufgrund dieser Entwicklung vollzieht sich auch ein Wandel bei der Wertschöpfung. Der gleiche Zulieferer kann in wechselnden Konstellationen verschiedene Rollen einnehmen, sei es als Lieferant der Hardwareplattform oder von Spezi­alsensoren samt zugehöriger Auswertesoftware, oder der Plattformsoftware. Er kann als Anbieter von Standardlösungen ebenso auftreten, wie als Innovationspartner oder als Integrationsdienstleister.

Der Automobilhersteller wiederum ist in sehr viel stärkerem Maße mit der Aufgabe der Integration konfrontiert. Statt Steuergeräte über den gemeinsamen Fahrzeugbus zu integrieren, muss er das Zusammenspiel von Einzelfunktionen unterschiedlicher Genese auf dem gleichen oder aber verschiedenen Steuergeräten realisieren. Zuständigkeitsgrenzen werden immer weniger von den Hardwarestrukturen bestimmt. Eine Vielfalt unterschiedlicher Lieferanten (zu denen auch der OEM selbst zählen kann) liefert Teile der Software und ermöglicht dem Integrator (also dem OEM oder dem mit dieser Aufgabe betrauten Zulieferer) zum Teil nur sehr begrenzten Einblick in ihren Lieferumfang. Ebenso müssen aktuelle Eigenentwicklungen des OEM und auch alter („Legacy“) Code integriert werden. Der OEM (oder der beauftragte Zulieferer) wird so in steigendem Ausmaß zum Manager von Rechnerressourcen und muss dafür Sorge tragen, dass die

*Neue Software-
erstellung-Paradigma*

*Veränderte OEM-Zulieferer
Beziehungen*

*Wandel in der
Wertschöpfung*

*Integration als Haupt-
aufgabe der OEM*



Herausforderung Nach- und Aufrüstbarkeit

nicht-funktionalen Anforderungen in der gewünschten Qualität sichergestellt sind.

Das AUTOSAR Motto, bei nicht wettbewerbsrelevanten Themen zu kooperieren und bei Innovationen zu konkurrieren, spiegelt sich auch in der zunehmenden Verwendung von Open-Source-Software sowohl im Bereich Entwicklungswerkzeuge (Bsp. ARTOP), als auch für Plattformsoftware (Bsp. GENIVI und COMASSO) wieder.

Open-Source

Integration von Konsumerelektronik

Einen weiteren Umbruch bringt die zunehmende Integration von Konsumerelektronik mit sich (vgl. 4.1.6, 4.2.1 und 4.2.2). Die zum Teil bereits bestehenden, derzeit OEM gebundenen Möglichkeiten, sich Apps auf das fahrzeugeigene Infotainment-System zu laden, sind ein Beispiel hierfür. Die verstärkte Integration von Konsumerelektronik bringt eine für die Automobilindustrie neue Art von Zulieferern hervor. Besonders problematisch ist hier die wesentlich kürzere Dauer von Innovationszyklen als im Automobilbereich. Die traditionellen Lösungen der Automobilindustrie für die Integration von Innovationen in die Fahrzeugausstattung sind hierfür völlig unzureichend und zwar hinsichtlich aller relevanten Aspekte: Management von Innovationen, Entwicklungsprozessen und -werkzeuge sowie technische Lösungen in Hardware und Software.

Ressourcenmanagement und Trustmanagement

Safety Management

Security Architekturen

Hiermit einher geht die Tendenz, cloud- und infrastruktur-basierte Dienste aus dem Fahrzeug heraus zu nutzen, sei es im Bereich Infotainment oder für Car-2-X-Anwendungen.

Der OEM oder ein damit beauftragter Dienstleister wird aufgrund der steigenden Notwendigkeit von Nach- und Aufrüstbarkeit (siehe z. B. Abschnitt Umweltbewusstsein und Klimawandel) nicht nur für den Infotainment- und Car-2-X-Bereich die technische und logistische Leistung als Verwalter von Rechnerressourcen im Feld befindlicher Fahrzeuge und über die Fahrzeuge hinaus leisten müssen. Wie sich die Wertschöpfungskette in diesen neuen Bereichen auf Dauer etablieren wird, ist noch offen, größere Verschiebungen sind nicht ausgeschlossen.

Neben dem Ressourcenmanagement ist insbesondere auch dem Trustmanagement hinsichtlich Apps, Nachrüstlösungen sowie der Einbindung in bzw. von Infrastrukturelementen (Car-2-X etc.) eine gewichtige Bedeutung zuzuschreiben.

Im Bereich Zulieferkette spielt, nicht nur aufgrund der Verschiebung von Zuständigkeiten, das Thema Safety-Management eine erhebliche Rolle. Die ISO 26262 stellt hier einen gewichtigen Treiber dar. Spätestens auf technischer Ebene ergibt sich eine starke Verzahnung mit dem Thema Ressourcenmanagement (z. B. Fahrzeugbus, Speicherraum, Rechenzeit).

Von ebenfalls stark wachsender Bedeutung ist der Aspekt Security-Architektur (vgl. 4.1.6) im Fahrzeug und darüber hinaus. Eine verzahnte Betrachtung mit den Aspekten Safety und Ressourcenmanagement ist hier unumgänglich, unter anderem da sich die funktionale Sicherheit zukünftiger Fahrzeuge nur in dem Maße

darstellen lässt, wie die Integrität der (Teil-)Systeme garantiert werden kann. Zudem sind Attacken gegen die (kryptografischen) Sicherheitsfunktionen sowohl durch die Entwicklung der IT-Infrastruktur nach Fahrzeug-Produktion und massive Parallelisierung (etwa über in der Cloud gemietete Rechnerserver) eine starke Bedrohung, sodass sich auch hierdurch die Ressourcenproblematik im Zusammenhang mit der IT-Sicherheit erneut stellt. Nicht allein wegen diesem Umstand steigen die Anforderungen hinsichtlich der IT-Sicherheit für die Entwicklungskooperation über Unternehmensgrenzen. Durch den Aspekt Softwareupdate im Feld ergeben sich hier auch unmittelbar Anforderungen im Bereich eingebetteter Fahrzeugsysteme hinein. Das betrifft auch den zweiten Treiber für sichere IT-Ketten über Unternehmensgrenzen hinweg: den Schutz von geistigem Eigentum.

Die Fahrzeugsoftware wandelt sich immer mehr vom einstmaligen geschlossenen System zum offenen Baukasten und Bestandteil über- und nebengeordneter Softwaresysteme.



Konkrete Ziele für die Automobilindustrie lassen sich ableiten in Richtung

- technischer Lösungen für das Management von Rechnerressourcen für Aktualisierungen im Feld (z. B. Nachrüstung, App Download) inklusive der Verlagerbarkeit von Software über Steuergerätegrenzen hinweg unter Beibehaltung der Nachweisbarkeit der funktionalen und nichtfunktionalen Anforderungen (z. B. Echtzeitverhalten, Safety, Security).
- technischer Lösungen, die eine effiziente Integration von Softwareteilen auf der gleichen Hardwareplattform erlauben und zwar
 - unabhängig von der verwendeten Hardwareplattform
 - mit Unterstützung der Verlagerbarkeit bei bereits im Feld befindlichen Fahrzeugen
 - unter Bereitstellung der jeweils erforderlichen Umgebung unabhängig von der Domäne (Bsp. Infotainment, Motorsteuerung)
 - inklusive der Unterstützung von Systemen mit heterogenen Anforderungen bezüglich funktionaler Sicherheit (mixed ASIL) und Echtzeiteigenschaften sowie heterogener Domänenzugehörigkeit (mixed Domain)
 - bei gleichzeitiger Sicherstellung der geforderten, nachweisbaren Einflussfreiheit hinsichtlich aller sicherheitsrelevanten Eigenschaften (Safety und Security)
- Technische Lösungen, die eine Verifikation nicht-funktionaler Eigenschaften (z. B. zur Erbringung des Sicherheitsnachweises) erlauben
 - zur Entwicklungszeit und über Unternehmensgrenzen hinweg, ohne Verletzung des individuellen geistigen Eigentums (verteilte Verifikation)
 - zum Zeitpunkt der Aktualisierung im Feld, z. B. bei Nachrüstung oder App Download (Just in Time Verification)
- erweiterter Variantenmanagementlösungen unter Einbeziehung von Änderungen im Feld
- durchgängiger Security-Lösungen von der Entwicklungsplattform bis hin zum Steuergerät

5 SZENARIEN EINER ZUKÜNFTIGEN MOBILITÄT

34



In diesem Kapitel werden zunächst in vier Szenarien narrativ zukünftige Mobilität und Mobilitätskonzepte aus Sicht der Endkunden dargestellt. Daran anschließend folgt eine Beschreibung der Eigenschaften von Entwicklungsprozessen für solche zukünftigen

Systeme. Diese Beschreibung dient als Basis für die im folgenden Kapitel 6 vorgenommene Analyse der zu Realisierung dieser Konzepte benötigten Fähigkeiten (Funktionen), Fertigkeiten (der Entwickler und der Entwicklungsprozesse) und Technologien.

5.1 SZENARIO 1: DER MENSCH IM MITTELPUNKT

5.1 An einem Februarmorgen im Jahr 2030 fährt Frau Müller mit dem Auto zu einem Termin bei ihrem Facharzt. Sie ist Diabetikerin, doch trotz umfassender telemedizinischer Versorgung sind in regelmäßigen Abständen Untersuchungen in einer Praxis in einem anderen Stadtteil notwendig. Da Familie Müller keinen Garagenplatz hat, steht ihr Auto auf einem Parkplatz an der Straße. Als Frau Müller in der morgendlichen Dunkelheit aus dem Haus kommt, sind bereits automatisch alle Reisedaten zum heutigen Tag im Fahrzeug hinterlegt. Die Medienpräferenzen wurden mit den aktuellen Hitlisten aus der Cloud synchronisiert. Die Beleuchtung des Autos ist schon eingeschaltet, die Heizung hat den Innenraum auf die gewünschte Temperatur gebracht und die Scheiben wurden elektrisch beheizt und enteist. All dies geschieht vollautomatisch durch Abgleich von persönlichen Cloud-Daten mit dem Fahrzeug, da Frau Müller für ihren Kalender und ihre Medienbibliothek eine explizite Freigabe für die automatische Fahrzeugsynchronisation erteilt hat. Das Auto erkennt Frau Müller eindeutig über das Kamerasystem an der Fahrerseite und öffnet ihr die Türe. Gleichzeitig wird das Fahrzeug auf ihre persönlichen Bedürfnisse und individuellen Vorlieben eingestellt. Dazu gehören neben den Einstellungen von Fahrersitz, Lenkrad und Rückspiegel auch die Fahrdynamik und Motorcharakteristik, die Gestaltung der Instrumententafel und die Einstellungen von Infotainment und Netzanbindung. Am Abend vorher hat noch ihr Sohn das Auto gefahren. Frau Müller freut sich, dass jetzt nicht nur Motor, Fahrwerk und Instrumententafel vom Sportmodus zurück in den Komfortmodus gestellt und die Heavy-Metal-Internet-Radiosender durch ihre favorisierten Informationskanäle ersetzt wurden, sondern auch das unmittelbare Teilen von Fahrtdaten mit dem Social-Media-Service des Sohnes abgestellt ist. Dafür hatte ihr Sohn eine App in das Infotainment-System des Autos geladen, die nicht nur weitergibt, wo

das Auto unterwegs ist und welche Musik der Fahrer gerade hört, sondern auch technische Fahrzeuginformationen wie Beschleunigung, Gierrate etc. Obwohl sich Frau Müller nicht erschließt, warum man solche Angaben mit anderen teilen möchte, beruhigt sie die Gewissheit, dass die Fahrdynamiküberwachung ihres Autos das Überschreiten von gefährlichen Grenzwerten verhindert und dass die Security-Mechanismen des Infotainment-Systems Manipulationen der Fahrzeugsoftware durch nachgeladene Apps sicher ausschließt.

Für Frau Müller ist es mittlerweile selbstverständlich, dass sie nun während der Fahrt Zugriff auf ihre persönlichen Informationen wie Kontakte, Kalender, Gesundheitsdaten, Musikplaylisten etc. in der Cloud hat, ohne dass sie dafür ihr Smartphone mitnehmen und im Auto anschließen muss. Während ihr Mann und ihr Sohn eine haptische Benutzerschnittstelle verwenden, bevorzugt sie die Sprachsteuerung. Sie nutzt die Zeit im Auto, um sich ihre neu eingegangenen E-Mails vorlesen zu lassen und einige gleich per Diktat zu beantworten. Eine E-Mail enthält ein Dokument mit Grafiken, das sie sich auf dem hochauflösenden Bildschirm in der Instrumententafel anschauen möchte. Sie schaltet daher ihr Fahrzeug auf automatisierten Betrieb um, der auf der gewählten Strecke möglich ist. Das Fahrzeug übernimmt die Kontrolle, und Frau Müller kann ihre volle Aufmerksamkeit dem Lesen des Dokuments widmen. Sie weiß, dass sie mit einer ausreichenden Vorwarnzeit von drei Sekunden gewarnt würde, wenn das Fahrzeug trotz Automatisierung in eine Situation käme, die ihr Eingreifen erfordert. Im Einklang mit der Verkehrsflusssteuerung der Stadt wählt das Fahrzeug dabei automatisch eine Route, die die Ankunftszeit von Frau Müller optimiert und eine ausgeglichene Nutzung der Verkehrsinfrastruktur der Stadt ermöglicht, damit möglichst wenige Verkehrsbehinderungen entstehen.

Während der ganzen Fahrt überwachen Innenraumkameras und im Sitz integrierte Sensoren Frau

Reisedaten sind automatisch im Fahrzeug hinterlegt

Sprachsteuerung

Automatisiertes Fahren

Individuelle Einstellungen

Fahrerzustandserkennung

Müllers Vitalitätszustand. In ihrem besonderen Fall verbindet sich auch automatisch ein implantierter Blutzuckersensor mit dem Überwachungssystem. Für sie als Diabetikerin ist es beruhigend zu wissen, dass so schon mit ausreichend zeitlichem Vorlauf das Eintreten eines Fahruntüchtigkeitszustands erkannt würde, um noch eine bewusste Reaktion der Fahrerin zu ermöglichen. Sollte es trotzdem zu einer durch Hypo- oder Hyperglykämie verursachten Bewusstlosigkeit kommen, würde ihr Auto die Fahrkontrolle übernehmen und entscheiden, ob es einen Nothalt am Fahrbahnrand mit Benachrichtigung des Notarztes durchführt oder über eine zugelassene Strecke automatisiert zur nächsten Notaufnahme fährt. In beiden Fällen würden alle wichtigen Gesundheitsdaten von Frau Müller dem Notarzt vorab übermittelt.

*Entwicklungsprozess**Mobilitätsdienstleister*

Ausnahmsweise braucht Herr Müller an diesem Morgen auch ein Auto. Für diese Fälle hat Familie Müller einen Vertrag mit einem Mobilitätsdienstleister abgeschlossen, der ihr jederzeit die Nutzung eines bestimmten Autotyps ermöglicht. Familie Müller hat dem Mobilitätsanbieter dazu explizit Zugriff auf die persönlichen Cloud-Daten zur Planung des Tagesablaufs gewährt. Daher kann die Reservierung des Fahrzeugs auch automatisch nach Bekanntwerden des Termins von Herrn Müller erfolgen. Die Wohnung der Familie Müller liegt in einem Bereich, in dem die Fahrzeuge von der Sammelstelle vollautomatisiert zum Kunden fahren können. Daher steht das Fahrzeug rechtzeitig bei ihm zu Hause bereit. Da auch Herrn Müllers persönliche Einstelldaten und seine individuell gebuchten Fahrzeugfunktionen bei dem Mobilitätsdienstleister hinterlegt sind, ist das Fahrzeug für ihn genauso umfassend individualisiert wie das eigene Auto für seine Frau. Insbesondere verbindet sich das Fahrzeug mit seiner Datenbrille, die er ständig trägt, und verwendet diese anstelle des Displays in der Instrumententafel zur Anzeige aller wichtigen Informationen.

Voraussetzungen

Damit die beiden Fahrzeuge die beschriebenen Leistungen für Familie Müller erbringen können, sind folgende technische Voraussetzungen erforderlich:

- Security- und Privacy-Mechanismen für die Mobilität
- Vollvernetzung aller Fahrzeuge mit hoher Bandbreite
- volle Individualisierbarkeit von Funktionsumfängen durch Update- und Upgrade-Mechanismen

- standardisierte Schnittstellen für die Integration von On-line-Diensten, Unterhaltungselektronik-Geräten, Wearable Computing Devices und der Car-2-X Kommunikation
- multimodale Bedienkonzepte für alle Bereiche des Automobils

Für den zukünftigen Entwicklungsprozess bedeutet dies (vgl. 4.2.4 und 4.2.2), dass die Innovationszyklen der Elektrik/Elektronik wesentlich verkürzt und eine stärkere Adaptierbarkeit der Fahrzeuge möglich gemacht werden müssen. Das Fahrzeug und das Backend verschmelzen zunehmend zu einem gemeinsamen System, das mit Cloud-Daten synchronisiert so weit wie möglich immer gleiche Funktionsumfänge anbietet.

Die Entwicklung von Fahrzeugfunktionen ist im Kern nicht mehr länger getrieben durch die Integration von Einzelfunktionsumfängen mit eigenen Steuergeräten, sondern besteht insbesondere in der Integrationsleistung von Softwarediensten, die auf einheitlichen und gemeinsamen Standards für Internetdienste, Unterhaltungselektronik-Industrie und Automobilindustrie beruhen (vgl. 4.1.6).

Der Datenschutz und die Security der Funktionen müssen höchsten Ansprüchen genügen. Dabei ist ein Mittelweg zu finden, der zum einen die anonymisierte Nutzung von Mobilitätsdaten für die Optimierung der Mobilität erlaubt, zum anderen aber das Tracking von Nutzern und den Datenmissbrauch verhindert.

Innerhalb der Fahrzeuge entwickelt sich die Hardware- und Softwarewelt weg von der Komponente



für die Einzelfunktion hin zu einer Hochintegrationslösung, in der weniger, dafür aber leistungsfähigere und austauschbare Komponenten die Integration verschiedenster Softwarefunktionen übernehmen. Eine große Herausforderung hierbei ist die Standardisierung und Industrialisierung von entsprechenden Plattformkomponenten und Softwareinfrastrukturen sowie die weitergehende Trennung von Sensorik und Aktuatorik von der eigentlichen Funktionslogik.

5.2 SZENARIO 2: ZERO ACCIDENTS (FUNKTIONSSICHERHEIT, SECURITY IMPACT ON SAFETY)

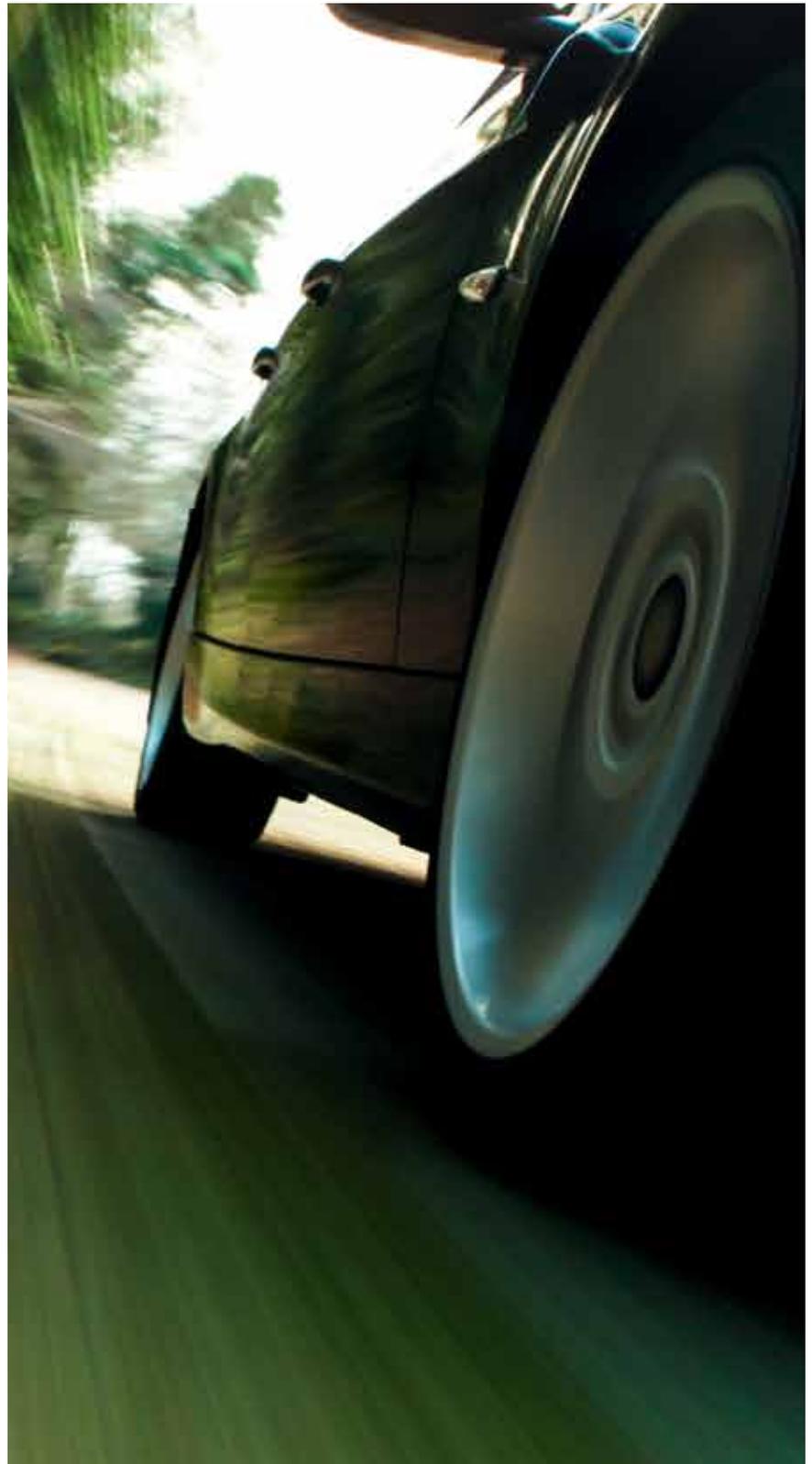
5.2
Frau Müllers Arzt hat ihr nach der Untersuchung eine neue App zur Überwachung ihres implantierten Sensors zur Überwachung des Blutzuckerspiegels empfohlen, die eine frühzeitigere Erkennung von kritischen Werten ermöglicht und dazu Daten zur Analyse mit einem externen Rechner austauscht. Frau Müller lädt die App bevor sie sich auf den Weg nach Hause macht. Die Software in ihrem Fahrzeug prüft, ob die App zertifiziert ist und ob sie mit den schon installierten Programmen gefahrlos zusammen betrieben werden kann. Es wird auch intensiv analysiert, ob die App selbst oder die von ihr benötigten Datenverbindungen eine Manipulation der technischen Fahrzeugsoftware ermöglichen. Zusätzlich werden eine Firewall und eine dynamische Überwachung der App konfiguriert. Sollte es zu nicht bestimmungsgemäßen Zugriffen auf Daten oder Aktuatoren kommen, würden diese Systeme die App sofort beenden und gegebenenfalls das Fahrzeug in einen sicheren Steuerungsmodus bringen, um einen Unfall zu verhindern.

Frau Müllers neue App kann problemlos installiert werden und arbeitet sofort sowohl mit ihrem Blutzuckersensor als auch mit dem System zur Fahrtüchtigkeitsüberwachung zusammen. Letzteres erkennt nicht nur physiologische Notfallsituationen, sondern auch Gefahrensituationen durch mangelnde Aufmerksamkeit. Frau Müller ist das einmal passiert, als sie sich sehr angeregt mit einer mitfahrenden Freundin unterhielt. Ihr Auto erkannte, dass sie anders auf Verkehrssituationen reagierte als im Normalfall und gab eine Warnung aus. Wenn die Diskrepanz zwischen erwartetem und beobachtetem Fahrerverhalten trotz weiterer Warnungen angehalten hätte, hätte ihr Fahrzeug kurzzeitig die Kontrolle übernommen und schließlich einen Nothalt eingeleitet.

In einem anderen Fall verhinderte Frau Müllers Auto einen Unfall, als ein Pedelec-Fahrer hinter einem parkenden Lieferwagen wenige Meter vor ihr auf die Fahrbahn fuhr. Ihr Auto erkannte, dass Frau Müller mit ihren Fähigkeiten den Zusammenstoß nicht mehr verhindern konnte, kalkulierte mögliche Trajektorien zur Vermeidung des Zusammenstoßes und entschied sich für ein Ausweichmanöver anstelle einer Vollbremsung. Dies war möglich, da Frau Müllers Auto dieses Manöver mit dem nächsten entgegenkommenden Fahrzeug

Zertifizierte Apps zur Erweiterung der Fahrzeugfunktionalität

Fahrerzustandsüberwachung und ggf. automatisierter Eingriff in Fahrzeugführung





Multimodale
Verkehrskonzepte

5.3 SZENARIO 3: UMWELTVER- TRÄGLICHE UND EFFIZIENTE MOBILITÄT

An einem sonnigen Frühsommertag im Jahr 2030 fährt Familie Wagner die letzte Fahrt in ihrem in die Jahre gekommenen Elektroauto. Vater Henri Wagner ist bester Laune – die Voltamp-App auf seinem Smart-Communicator prognostiziert einen hervorragenden Ertrag seiner heimischen Photovoltaikanlage. Mutter Maria Wagner freut sich auf das neue Auto, das sie abholen fahren. Die Zwillinge Ilka und Anton genießen zur Einstimmung auf den anstehenden Urlaub in Schweden ein interaktives Pippi Langstrumpf Hörbuch.

Diagnose, Monitoring,
Betriebsdaten

Erweiterungen der Fahr-
zeugfunktionalität durch
zertifizierte Apps

Am Autohaus angekommen überprüft der Verkäufer über die drahtlose Diagnoseschnittstelle des Altwagens die Gesamt-Öko-Bilanz des Fahrzeugs. Er zeigt den Wagners den grünen Balken und erklärt, dass die erforderlichen Schwellwerte der neuesten EU-Vorgabe für das Einleiten der Recyclingphase erreicht wurden. Bei deren Berechnung wurden sowohl Energie- und Materialeinsatz bei der Herstellung des Wagens als auch die Gesamtleistung respektive der dazu benötigten Energie und den zu ihrer Erzeugung genutzten (regenerative) Quellen berücksichtigt. Die Teilnahme am gesteuerten Laden und Rückspeisen als Energiereservoir zur besseren Ausnutzung von Wind- und Sonnenstrom ist ein weiterer Pluspunkt in dieser Bilanz.

Bald darauf fahren die Wagners mit ihrem neuen Wagen nach Hause und beginnen mit dem Packen der Koffer für den Urlaub in Småland. Auch der nächste

Morgen ist sonnig und ihre Reise beginnt mit bester Laune. Obwohl das neue Elektroauto eine viel größere Reichweite und deutlich kürzere Ladezeiten hat, und obwohl sie große Teile der Strecke automatisiert fahren könnten, entscheiden die Wagners sich dafür, die Reise in den Urlaub mit dem Zug anzutreten, da dies zum einen die Reisezeit verkürzt und zum anderen mehr Platz zum Spielen und Schlafen für die Kinder vorhanden ist. Nach Ankunft am Bahnhof mit dem neuen Wagen können sie sich dank der neuen App, die Henri noch schnell am Vortag installiert hat, die Parkplatzsuche sparen. Marie war etwas skeptisch, auf das neue Auto eine App zu installieren, die nicht vom Fahrzeughersteller kommt. Aber Henri konnte sie mit dem Hinweis beruhigen, dass der Verifikationsdienst, den der Fahrzeughersteller in der Cloud anbietet, nicht nur generell die App der Stadtwerke freigegeben hat, sondern auch mit hochmodernen Programmanalysewerkzeugen für genau ihre individuelle Ausstattungs- und Softwarekonfiguration des neuen Wagens alle relevanten Eigenschaften der App innerhalb weniger Minuten vorab überprüft hat.

Nachdem die Wagners ausgestiegen sind und ihr Gepäck entladen haben, steuert der neue Wagen vollautomatisch den nächsten freien Parkplatz an und macht dabei nur kurz Halt, um eine ältere Frau über die Straße zu lassen, obwohl diese nicht den Zebrastreifen benutzt.

Im Zug bestellt Marie über ihren Smart-Communicator ein Shared-Car für ihre Ankunft in Rostock. Dort angekommen wartet ein hydropneumatisches Plugin-Hybrid-Fahrzeug auf die Familie Wagner. Das Fahrzeug

transportiert sie zum Fährhafen und tankt dort mit Gezeitenenergie erzeugte Druckluft, bevor es sich mit anderen Passagieren auf den Weg zurück zum Bahnhof macht.

Kurz vor Ankunft in Schweden erhält Frau Wagner eine Nachricht auf ihrem Smart-Communicator darüber, dass der bestellte Mietwagen mit leichter Verspätung ankommen wird. Ursprünglich wollten die Wagners nur acht Tage bleiben, haben dann aber zwei Wochen daraus gemacht. In den Verlängerungszeitraum fällt der Stichtag für das Inkrafttreten einer neuen EU-Regulierung, die besagt, dass alle Hybrid-Fahrzeuge ihre Verbrauchswerte anonymisiert, aber in Echtzeit, in die EU-Gov-Cloud übertragen müssen, und die kurz vor Inkrafttreten noch Änderungen mit technischen Auswirkungen erfahren hat. Das ursprünglich für die Wagners vorgesehene Fahrzeugmodell muss für diese Umrüstung tatsächlich noch in die Werkstatt. Stattdessen erhalten sie ein neueres Modell, das die notwendigen weitreichenden Rekonfigurationen im Fahrzeugrechnernetzwerk per Softwaredownload – nach vorheriger Verifikation über den Cloud-Dienst des Fahrzeugherstellers – innerhalb weniger Minuten erledigt.

Nachdem die Wagners in ihrem Ferienhaus angekommen sind, erforschen die Kinder den nahen Teich mit selbstgeschnitzten Holzbooten. Henri sieht sich auf seinem Smart-Communicator die Einnahmen an, die der Zentralrechner des neuen Wagens durch günstiges Einkaufen von Ökostrom bei dem Überangebot an Sonne tagsüber, Zwischenspeicherung in den Batterien und teurem Verkaufen bei windstiller Nacht in der Zwischenzeit über die Crowd-Consumption App erzielt hat, die er noch vom Zug aus auf dem Fahrzeugrechner installiert hat. Zufrieden betrachtet er die positive Ökobilanz und den grafisch dargestellten Umfang an eingesparter CO₂-Produktion samt Verbrauch von fossilen Brennstoffen, der jeweils ohne den Stromhandel erforderlich gewesen wäre.

5.4 SZENARIO 4: AFTER-SALES UND MAINTENANCE

Susanne Fröhlich hat bereits 32.000 km mit ihrem Fahrzeug zurückgelegt. Die fahrzeuginterne Diagnose steht in ständiger Verbindung mit den Service-Backend-Systemen des Herstellers und stellt den zuverlässigen Betrieb sicher. Aufgrund aktueller Prognose-daten und auf Basis des Benutzungsprofils ihres Fahrzeugs empfiehlt das System einen Wartungstermin innerhalb der nächsten sechs Wochen.



Ihr Kundenberater hat über sein Customer-Relationship-Management-System die Nachricht erhalten und wendet sich mit einer persönlichen Mitteilung an Frau Fröhlich. Sie bekommt die Nachricht in ihrem Fahrzeug angezeigt und wählt „Terminvorschlag“ an. Ihr Mobiltelefon beantwortet die Fahrzeuganfrage nach Terminmöglichkeiten, welches diese mit dem Ressourcenmanagement der lokalen Vertragswerkstatt abgleicht. Auch wenn in Folge dieses kurzen Datenabgleichs mit Frau Fröhlichs Handy noch unbemerkt viele weitere IT-Systeme konsultiert werden, wird ihr bereits einen Augenblick später ein Terminvorschlag angezeigt und das elektronische Wartungsbuch im Fahrzeug erhält einen neuen vorläufigen Eintrag. In diesem Wartungsbuch ist bereits jetzt der Umfang der Arbeiten, mit Angaben zu den benötigten Ersatzteilen und deren Kosten, genau aufgelistet. Im selben Moment, in dem Frau Fröhlich den Termin bestätigt, erhält KFZ-Meister Mehring einen entsprechenden Eintrag in seinem Auftragsplanungssystem. Um die Bestellung von Ersatzteilen muss sich Herr Mehring seit Einführung des neuen ERP-Systems nicht mehr kümmern. Die Bestellung der Teile erfolgt automatisch und die Terminfindung berücksichtigt damit verbundene Lieferzeiten.

Frau Fröhlich hat sich bereits bei der Internet-Vorstellung des neuen Erdgas-Hybrid-Fahrzeugs an dem neuartigen Umwelt-Konzept und der Integration in das Web 3.0 interessiert gezeigt. In der Nachhaltigkeits-App ihres Automobil-Clubs hat sie darüber hinaus analysieren lassen, welche Kosteneinsparungen sie durch CO₂-Bonus und neue Assistenzsysteme erhält. Umso erfreuter ist sie, als sie die Nachricht erhält, dass sie ein solches Fahrzeug als Ersatzfahrzeug am

Umrüstung und Rekonfiguration während der Nutzungszeit

Monitoring, Diagnose, Wartung

Fahrzeug als Teil des Internet der Dinge und Dienste

*Zusammenführung von
Monitoring und Diagnose-
daten in Fahrzeugflotten*

*Recycling, Reuse und
Weiterverwendung*

Wartungstermin in Empfang nehmen darf. Das neue Fahrzeug ist bereits auf ihre Person vorkonfiguriert und vorkonditioniert als sie einsteigt. Ein Tablet liegt auf dem Beifahrersitz bereit und stellt ihr interaktiv die wichtigen Bedienelemente, welche sich von ihrem bisherigen Fahrzeug unterscheiden, dar. Ebenso hat sie über das Tablet einen direkten Zugriff auf den aktuellen Wartungsstatus ihres eigenen Fahrzeugs.

Tiefere Einblicke in den Zustand der Fahrzeugsysteme erhalten die Wartungssysteme der Werkstatt, die IT-Systeme des Herstellers und wichtige Zulieferer. Auf Basis vieler tausend Datensätze und unter Berücksichtigung vielfältiger Kontextfaktoren werden Wartungszeitpunkt und -umfang festgelegt. Die Diagnosedaten werden dabei nicht nur für die Wartung genutzt, sondern stellen auch eine wichtige Basis für die Entwicklung der nächsten Fahrzeuggeneration dar. Datenschutz wird dabei großgeschrieben: Ohne Einwilligung von Frau Fröhlich werden keine Daten übertragen; mehr noch: da diese Daten für den Hersteller wertvoll sind wurde ihr für die Bereitstellung der Daten 2% der Leasingrate erlassen. In der Entwicklung helfen anonymisierte Daten Software-Ingenieuren bei der Auslegung von Funktionen und der Optimierung von Tests. Der Elektroniker in der Werkstatt muss diese Details nicht kennen: Die Software der Fahrzeugsteuergeräte wird automatisch aktualisiert. Bei komplexeren Wartungsvorgängen hilft eine augmentierte Einblendung der Arbeitsschritte in die Datenbrille. Ein prototypischer Cloud-Dienst des Herstellers übernimmt dabei sogar die Qualitätssicherung auf Basis des aufgezeichneten Kamerabildes.

Frau Fröhlich hat unterdessen auf einer längeren Dienstreise die Vorzüge des neuen Fahrzeugs schätzen gelernt. Der Tag mit dem Ersatzfahrzeug geht zu Ende, als sie eine Nachricht ihres Kundenbetreuers erhält: „Behalten Sie das Fahrzeug einfach noch drei Tage – und bei Beibehaltung Ihrer jetzigen Mobilitäts-Rate auch dauerhaft.“ Kurzentschlossen bestätigt sie bereits jetzt den Wechsel und teilt die Errungenschaft inklusive eines Bilds ihres neuen Fahrzeugs ihrem sozialen Netz mit. Fahrzeugbrief und weitere Dokumente werden ihr digital signiert in der Cloud zur Verfügung gestellt. Schnell landen Bestätigungs-E-Mails von der Zulassungsstelle und der Versicherung in ihrem elektronischen Postfach. Schön, dass ihr auch der Gasversorger ein besseres Angebot unterbreitet hat.

In der Werkstatt ist Herr Mehring wenig erstaunt, dass das Ersatzfahrzeug so gut bei Frau Fröhlich an-

gekommen ist – die CRM-Systeme und das Marketing waren die ersten „Big-Data“-Anwendungen im Konzern und die Trefferquote ist extrem hoch. Doch das Autohaus muss sich nicht lange um die Veräußerung des Gebrauchtfahrzeugs kümmern. Der unabhängige Dienst „AutoSales24“ hat bereits ein Angebot aus Tunesien vermittelt, das nach einer Nordafrika-Rekonfiguration das beste Geschäft verspricht. Die Software des Diensteanbieters hat aus einer Kombination von Ersatzteilpreisen, Upgrade-Möglichkeiten und Anforderungen des Zielmarkts die für den Verkäufer gewinnbringendste Strategie ermittelt.

Aus dem Fahrzeug werden drei Systeme und vier Steuergeräte ausgebaut und im Gebrauchthandel wieder verkauft. Die übrigen Steuergeräte erhalten ein Software-Update, das Infotainment-System auch ein Hardware-Update. Die Updates passen das Fahrzeug an die veränderten Klimabedingungen und die schlechtere Treibstoffqualität an. Zusätzlich wird die Fahrzeuglebensdauer durch Einschränkung der verfügbaren Leistung verlängert. Durch die schlechteren Abgaswerte und die entfernten Sicherheitssysteme verliert das Fahrzeug die Fahrerlaubnis für einige Gebiete Europas, Nordamerikas und Asien. Die Fahrerlaubnis wird automatisch aus dem Fahrzeug und in den entsprechenden Datenbanken gelöscht. Die Batterie, die laut Diagnose ohnehin nahe am Ende ihres Lebenszyklus ist, wird für den Export ausgebaut und durch eine billigere ersetzt. Die alte Batterie durchläuft ein Rekonditionierungsprogramm, um später als Pufferbatterie in einem Haushalt verwendet werden zu können.

Das Fahrzeug wird per Schiff nach Tunesien transportiert. Während des Transports kauft ein tunesischer Mobilität- und Telekommunikationsdienstleister „TeleMobil“ dieses und 13 weitere Fahrzeuge auf dem Schiff, die er aus der Datenbank von „AutoSales24“ herausgefiltert hat. Er reprogrammiert während des Transports die Fahrzeuge. Als die Fahrzeuge ankommen, ist das Infotainment-System mit dem Branding und den Apps von „TeleMobil“ versehen und das Fahrzeug ist bereits in Tunesien registriert, als es selbstständig vom Schiff zum Parkplatz von „TeleMobil“ rollt. Seine Assistenzsysteme wurden per Software-Update an die tunesische Straßenverkehrsordnung angepasst.

Während die „neuen“ Fahrzeuge vom Schiff rollen, werden parallel die zum Verschrotten bestimmten Fahrzeuge für den Rücktransport nach Europa verladen. Die darin enthaltenen wertvollen Rohstoffe sind begehrt



bei den Fahrzeugherstellern. Zum Recycling bestimmte Bauteile im Auto sind mit einem RFID-Chip versehen, auf dem bereits bei der Herstellung ein Zertifikat für die enthaltenen Rohstoffe abgelegt wurde. Durch das ordnungsgemäße Recycling werden diese Rohstoffzertifikate wieder frei und können vom Hersteller erneut für die Fertigung von Produkten verwendet oder an einer Zertifikatebörse gehandelt werden.

5.5 FOLGERUNGEN FÜR DIE KOSTENEFFIZIENTE ENTWICKLUNG UND FERTIGUNG

Der immer weiter steigende Anteil eingebetteter Systeme an der Wertschöpfung im Automobil wird einen grundlegenden Wandel in den Steuerungssystemen der Entwicklung und Produktion hervorrufen. Das zurzeit führende Paradigma einer bauteilorientierten Organisation von Entwicklung und Produktion wird durch eine funktionale Sicht auf das Fahrzeug zumindest komplementiert, wenn nicht sogar vollständig abgelöst werden. Die funktionsorientierte Sicht auf Fahrzeuge bietet die einzigartige Möglichkeit, Eigenschaften von Fahrzeugen in einer integrierten Form zu behandeln. Die Bewertung oder auch die Regionalisierung von Fahrzeugkonzepten wird nur auf der funktionalen Sicht wirklich durchführbar. Aktuelle Ansätze etwa zur Ermittlung des CO₂-Footprint oder zur Steuerung des Energieverbrauchs vereinen erstmalig ganzheitlich alle Gewerke einer Fahrzeugentwicklung.

Für künftige Entwicklungsorganisationen wird die Bereitstellung und Verfügbarkeit umfassender Fahrzeugmodelle selbstverständlich sein.

Frühzeitig werden Entwicklungsalternativen untersucht und Designentscheidungen begründet werden können. Die weltweite Verfügbarkeit der Modelle werden Lokalisierungen erleichtern und die Absicherung von kundenindividuellen Varianten erlauben.

Design-Space Exploration

So wie heute eine Virtualisierung in der geometrischen Entwicklung durch den Einsatz von Finite-Elementen-Modellen möglich ist, wird die Funktionalität eines Fahrzeugs virtuell entwickelt werden können. Die virtuelle Funktionsabsicherung wird zu einem Standardverfahren, so wie es der virtuelle Crash-Test heute bereits ist.

Virtualisierung

Die funktionale Virtualisierung in der Entwicklung von Fahrzeugen wird das Zusammenspiel vieler Ebenen der Fahrzeug-, Komponenten-, Hardware-, Softwareentwicklung integrieren und dies auf Basis einer Vielzahl aufeinander abgestimmter Standards in vielen Dimensionen: Datenmodelle für die Integration von Entwicklungsartefakten, Vorgehensmodelle und Prozesse für die Organisation einer integrierten Entwicklung sind zwei Kernbereiche der Standardisierung.

Insgesamt entsteht während der Entwicklungszeit ein vollständiges, auf einer standardisierten Taxonomie

basierendes virtuelles Abbild aller Entwurfsartefakte im Fahrzeug. Für sämtliche Entwurfsartefakte stehen umfassende Charakterisierungen aller funktionalen und nicht-funktionalen Aspekte und ihrer verfügbaren Varianten zur Verfügung. Aufgrund der darin enthaltenen Charakterisierungen der Anforderungen an den jeweils vorausgesetzten Systemkontext können sowohl während der Produktion, insbesondere aber beim Einspielen neuer Funktionen oder Anpassungen an länderspezifische Regelungen jederzeit festgestellt werden, ob die aktuellen Hardware- und Softwarestände zulässige und sichere Gesamtkonfigurationen darstellen. Während im After-Sales-Bereich Grenzen der Änderungen gesetzt sind, erlaubt das digitale Abbild des Vorgängermodells eine drastische Verkürzung der Entwicklungszeiten neuer Serien. Weitestgehend automatisierte Prozesse schlagen Varianten der existierenden Architektur vor, welche die neu zu

realisierenden Funktionen unter Berücksichtigung der zwischenzeitlich erfolgten Generationenwechsel der Hardwareschicht kostenminimal realisieren und generieren automatisiert vollständige Charakterisierungen der fehlenden Komponenten und notwendiger Modifikationen. Extern erstellte Artefakte werden begleitet durch vollständige Charakterisierungen, sodass in einem Akzeptanztest die Auswirkungen von gegebenenfalls leicht veränderten oder nur partiell erfüllbaren Anforderungsspezifikationen erfasst werden können.

Während der Lebenszeit des Fahrzeuges beobachten Komponenten ständig ihr Schnittstellenverhalten und gleichen dieses mit den im digitalen Bild gegebenen Charakterisierungen ab, um so frühzeitig Hinweise auf eventuell notwendige Wartungsarbeiten zu erkennen und im Bedarfsfall Teilfunktionalitäten auf Rückfallebenen (z. B. verminderte Leistung) zu reduzieren.



6 FERTIGKEITEN, FÄHIGKEITEN UND TECHNOLOGIEN



Ausgehend von der Betrachtung der allgemeinen gesellschaftlichen, technologischen und wissenschaftlichen Trends und ihrer Manifestierung in konkreten Szenarien für zukünftige Mobilität werden in diesem Kapitel konkrete Handlungsfelder für zukünftige Entwicklungen im Automobil vorgestellt und diskutiert. Die in den vorangegangenen Kapiteln dargestellten Herausforderungen und Entwicklungen wurden hierzu

thematisch in die Handlungsfelder automatisches Fahren (Kapitel 6.1), Fahrermodelle (Kapitel 6.2), Basissoftware für ECUs und ihre Life-Time-Adaptability (Kapitel 6.3) sowie Entwicklungsprozesse und –werkzeuge (Kapitel 6.4) gruppiert. In diesen Handlungsfeldern werden notwendige Fertigkeiten und Fähigkeiten und dafür erforderliche Technologien beschrieben.

6.1 AUTOMATISIERTES FAHREN UND UMWELTMODELLE

6.1.1 STUFEN DER AUTOMATISIERUNG

Im Folgenden wird Bezug genommen auf die durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) vorgeschlagene Klassifikation von Automatisierungsgraden, die in der nachfolgenden Tabelle wiedergegeben ist.



Nomenklatur	Beschreibung Automatisierungsgrad und Erwartung des Fahrers	beispielhafte Systemausprägung
Driver Only	Fahrer führt dauerhaft (während der gesamten Fahrt) die Längsführung (Beschleunigen / Verzögern) und die Querführung (Lenken) aus.	Kein in die Längs- oder Querführung eingreifendes (Fahrerassistenz-) System aktiv
Assistiert	<p>Fahrer führt dauerhaft entweder die Quer- oder die Längsführung aus. Die jeweils andere Fahraufgabe wird in gewissen Grenzen vom System ausgeführt.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Der Fahrer muss das System dauerhaft überwachen ▪ Der Fahrer muss jederzeit zur vollständigen Übernahme der Fahrzeugführung bereit sein 	<p>Adaptive Cruise Control:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Längsführung mit adaptiver Abstands- und Geschwindigkeitsregelung <p>Parkassistent</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Querführung durch Parkassistent (Automatisches Lenken in Parklücken. Der Fahrer steuert die Längsführung.)
Teilautomatisiert	<p>Das System übernimmt Quer- und Längsführung (für einen gewissen Zeitraum und / oder in spezifischen Situationen).</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Der Fahrer muss das System dauerhaft überwachen ▪ Der Fahrer muss jederzeit zur vollständigen Übernahme der Fahrzeugführung bereit sein 	<p>Autobahnassistent</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Automatische Längs- und Querführung ▪ Auf Autobahnen bis zu einer oberen Geschwindigkeitsgrenze ▪ Fahrer muss dauerhaft überwachen und bei Übernahmeaufforderung sofort reagieren
Hochautomatisiert	<p>Das System übernimmt Quer- und Längsführung für einen gewissen Zeitraum in spezifischen Situationen.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Der Fahrer muss das System dabei nicht dauerhaft überwachen ▪ Bei Bedarf wird der Fahrer zur Übernahme der Fahraufgabe mit ausreichender Zeitreserve aufgefordert ▪ Systemgrenzen werden alle vom System erkannt. Das System ist nicht in der Lage, aus jeder Ausgangssituation den risikominimalen Zustand herbeizuführen. 	<p>Autobahn-Chauffeur</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Automatische Längs- und Querführung ▪ Auf Autobahnen bis zu einer oberen Geschwindigkeitsgrenze ▪ Fahrer muss nicht dauerhaft überwachen und nach Übernahmeaufforderung mit gewisser Zeitreserve reagieren
Vollautomatisiert	<p>Das System übernimmt Quer- und Längsführung vollständig in einem definierten Anwendungsfall</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Der Fahrer muss das System dabei nicht überwachen ▪ Vor dem Verlassen des Anwendungsfalles fordert das System den Fahrer mit ausreichender Zeitreserve zur Übernahme der Fahraufgabe auf ▪ Erfolgt dies nicht, wird in den risikominimalen Systemzustand zurückgeführt ▪ Systemgrenzen werden alle vom System erkannt, das System ist in allen Situationen in der Lage, in den risikominimalen Systemzustand zurückzuführen 	<p>Autobahn-pilot</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Automatische Längs- und Querführung ▪ Auf Autobahnen bis zu einer oberen Geschwindigkeitsgrenze ▪ Fahrer muss nicht überwachen ▪ Reagiert der Fahrer nicht auf eine Übernahmeaufforderung, so bremst das Fahrzeug in den Stillstand herunter.



Der nächste Abschnitt gibt eine Abschätzung der Zeithorizonte für die technische marktreife Realisierbarkeit²² unterschiedlich hochautomatisierter Systeme. Dabei wird erwartet, dass diese Funktionen jeweils als Weiterentwicklungen von teilautomatisierten Lösungen entstehen werden, und die Basis für eine Schaffung von vollautomatisierten Lösungen bieten. Diese zeitliche Einordnung geschieht ausdrücklich ohne Berücksichtigung der rechtlichen Rahmenbedingungen, und ist insbesondere nicht als geplante Markteinführungszeitpunkte entsprechender Systeme zu verstehen.

Anschließend werden die dafür benötigten Fähigkeiten (Capabilities) und die dafür zu lösenden technologischen Herausforderungen diskutiert, die auch die in [BAST2012] genannten Forschungsfragen subsumieren. Abschließend wird auf zu schaffende Rahmenbedingungen eingegangen.

6.1.2 ZEITLICHE ANORDNUNG

Die zeitliche Anordnung orientiert sich an der abgeschätzten Komplexität der jeweils zu beherrschenden Fahrzeugführungsaufgaben, und berücksichtigt den Stand der Technik aus einschlägigen Projekten. Insbesondere ist die Darstellung auf eine rein technische Sicht fokussiert und berücksichtigt keine weiteren

Randbedingungen, wie beispielsweise das Vorhandensein gesetzlicher Grundlagen für hoch- und vollautomatisiertes Fahren oder Kundenakzeptanz. Sie dient im Kontext dieser Roadmap lediglich zur Verdeutlichung der notwendigen zu realisierenden Fähigkeiten, und wird daher nur stichwortartig gegeben. Dabei werden auch über die BAST Klassifikation hinausgehende Automatisierungsgrade wie „vollautomatisiertes Fahren von Tür zu Tür (Taxifunktion)“ sowie „Fahren ohne Fahrer oder Passagiere (fahrerloses Fahren)“ oder „teleoperiertes Fahren“ betrachtet, welche in [BAST2012] ausgeklammert wurden. Per Definition für hochautomatisierte Systeme schließt die nachfolgende Aufzählung von Funktionen stets ein automatisches Erkennen der Systemgrenzen und einen Rückfall auf teilautomatisierte Assistenz ein.

Short Term

- hochautomatisiertes Anfahren des Parkplatzes
- hochautomatisiertes Positionieren, z. B. für Ladestationen
- hochautomatisierte Kollisionsvermeidung in Autobahnsituationen
- ferngesteuertes Fahren durch Steuerung per App in eingegrenzten Umgebungen, zum Beispiel Einparken in die Garage

²² Die technisch marktreife Realisierbarkeit im Sinne von tatsächlich möglicher Serienverfügbarkeit aus technologischer Sicht. Die entsprechende technische Lösung muss daher typischerweise bereits 2 – 3 Jahre früher diesen Reifegrad für den SOP/Endkundenbetrieb erreichen.

Medium Term (≤ 5 Jahre)

- vollautomatisiertes Fahren in dafür ausgerüsteten Parkhäusern
- vollautomatisierte Kollisionsvermeidung auf Autobahnen
- hochautomatisiertes Autobahnfahren („Autobahnchauffeur“²³)
- vollautomatisiertes Fahren im Notfall („Notfallassistent, z. B. sicher auf den Standstreifen ...“)
- hochautomatisierte Kolonnenfahrt für Folgefahrzeuge innerhalb einer Kolonne (für PKW; für LKW früher)

Long Term (≤ 10 Jahre)

- vollautomatisierte Kollisionsvermeidung in nahezu allen Verkehrssituationen
- hochautomatisierter Kreuzungsassistent,
- vollautomatisierte Autobahnfahrt / Autobahnпилот
- Fahrerloses Fahren in definierten Verkehrsszenarien

6.1.3 FÄHIGKEITEN UND TECHNOLOGISCHE HERAUSFORDERUNGEN

Die Realisierung dieser Fahrzeugfunktionen setzt die folgenden vier Fähigkeiten voraus, die in jeweils eigenen Abschnitten zunächst inhaltlich umrissen wer-

den, um dann die dabei zu lösenden technologischen Herausforderungen zu beschreiben.

A. (Situations-/Umwelt-) Erkennung (auch Fahrer-Zustands-Erkennung)

B. (Situations-/Umwelt-) Bewertung

C. Strategieentwicklung und -umsetzung

D. Systementwurf und -qualifizierung

A. (SITUATIONS-/UMWELT-) ERKENNUNG

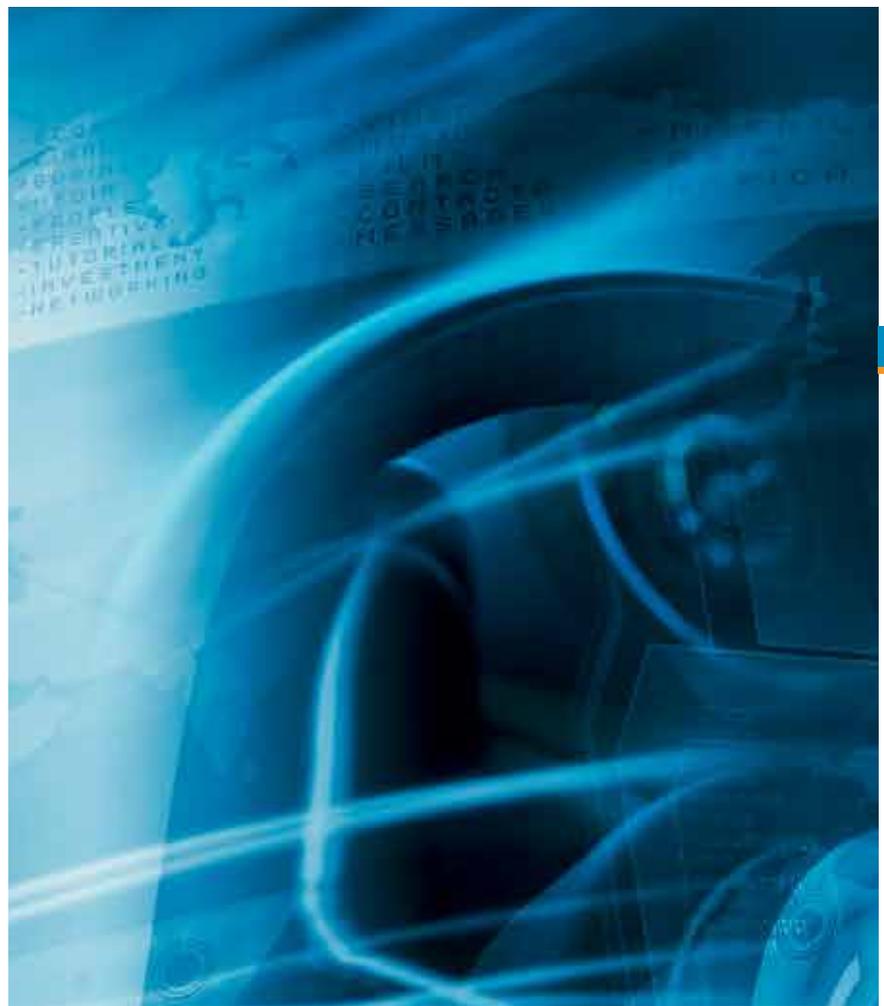
Hoch- und insbesondere vollautomatisiertes Fahren setzt voraus, dass sämtliche sonst durch den Fahrer vorgenommen Prozesse der Erfassung aller für die Fahrzeugführung relevanten Informationen vollständig automatisiert werden, und damit eine möglichst lückenlose digitale Repräsentation dieser Informationen (im Folgenden als digitales Weltbild bezeichnet) als Basis der nachfolgend diskutierten Fähigkeit der Bewertung dieser Information vorliegt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine vollständige Umgebungserfassung faktisch nicht möglich ist. Vor dem Hintergrund der in der Roadmap geforderten Serienreife der technologischen Entwicklung geht dies über die bereits zahlreich für Prototypen demonstrierte Fähigkeiten der Umwelterfassung weit hinaus. Zum einen muss qua Definition von hochautomatisierten Fahrzeugfunktionen der Fahrer nicht mehr im Loop sein, das System muss also, zumindest technologisch (d.h. unter Abstraktion von in [BAST2012] diskutierten rechtlichen Fragen), die Fahraufgabe ohne den Fahrer als Rückfallebene solange vollautomatisiert durchführen, bis es selbst



²³ [BAST2012]

aufgrund erkannter Systemgrenzen aktiv die Einbeziehung des Fahrers anfordert. Zum anderen müssen alle relevanten Bestimmungen in der Zulassung vollauf berücksichtigt werden. Als Drittes kommen neue Standards zur Funktionssicherheit und Anforderungen an einen systematischen Entwicklungsprozess mit entsprechendem Sicherheitsnachweis hinzu (ISO 26262). Eine zentrale Herausforderung stellt dabei die Überwachung der Systemgrenzen dar: eine serienreife Entwicklung setzt voraus, dass Qualitätssicherungen zur Konsistenz zwischen dem digitalen Weltbild und der dadurch repräsentierten Wirklichkeit gegeben werden: mit welchem Konfidenzgrad sind im Weltbild identifizierte verkehrsrelevante Artefakte tatsächlich mit den dort repräsentierten Merkmalen (etwa bezüglich Position, Geschwindigkeit, Extension, Beschleunigung, antizipierten Trajektorien) in der Realität gegeben, und umgekehrt: finden sich alle für die Fahrzeugführung relevanten Aspekte der Wirklichkeit mit hinreichender Konfidenz im digitalen Weltbild wieder? Insbesondere: sind Lücken in der Umgebungswahrnehmung vorhanden? Sind diese sicher identifiziert?

Vor diesem Hintergrund zielen die nachfolgenden technologischen Herausforderungen nicht mehr auf die ja bereits prototypisch nachgewiesenen Funktionen, die im Prinzip eine 360° Wahrnehmung der Fahrzeugumgebung gewährleisten, dies auf Basis von heute beherrschten Techniken der gesamten Wahrnehmungskette von Rohdaten bis zur Objekterkennung sowie der Verfügbarkeit von intelligenter streckenseitig verbauter Sensorik und Car-2-X Information. Hier gilt es zwar im Einzelnen noch weitere Verbesserungen in der Genauigkeit der Auflösung und der Verbesserung der Objektidentifikationsalgorithmen zu entwickeln, sowie die Einbeziehung von aus der Cloud verfügbarer Informationen zu realisieren. Viel grundlegender ist die Frage, wie entlang der gesamten Wahrnehmungskette Qualitätsattribute mit bestimmt werden können, die letztlich die geforderte Konfidenz zwischen Wirklichkeit und digitalem Weltbild garantieren. Genauso wichtig ist, welche Architekturkonzepte dazu beitragen können, in den Regionen, in denen die Konfidenz für die vollautomatisierte Wahrnehmung der Fahraufgabe zu schwach ist, diese zu verbessern, zum Beispiel wie mit Fahrsituationen umgegangen werden muss, in denen die Umgebungswahrnehmung lückenhaft ist. So wäre etwa denkbar, auf Grund einer standardisierten Repräsentation von digitalen Weltbildern und der mit ihren Artefakten verbundenen Konfidenzen diese zwischen benachbar-



ten Fahrzeugen oder Infrastrukturen auszutauschen, um so „blinde Flecken“ zu kompensieren. Ebenso ist zu erwarten, dass in der Cloud verfügbare Informationen (im einfachsten Falle digitale Karten) zur weiteren Informationsgewinnung herangezogen werden. Gelingt es trotz solcher Maßnahmen nicht, die Konfidenz der für die aktuelle Fahraufgabe relevanten Artefakte des digitalen Weltbildes genügend abzusichern, sind die Grenzen des Systems erreicht – eine ständige Überwachung der Konfidenz der in naher Zukunft relevanten Artefakte erlaubt somit eine rechtzeitige Einbeziehung des Fahrers bevor solche Systemgrenzen erreicht sind. Eine besondere Herausforderung liegt hier in der Vorbereitung des Überganges auf eine teilautomatisierte Führung: welche Informationen müssen dem Fahrer wie bereit gestellt werden, damit dieser – obwohl vorher nicht seine Aufmerksamkeit auf den Fahrvorgang gerichtet ist – in einer dann in der Regel selten vorkommenden und kritischen Situation die Fahrzeugführungsaufgabe übernehmen kann?

Konsistenz der Weltbilder

Explizit sei darauf hingewiesen, dass der Fahrer selbst Teil des digitalen Weltbildes sein muss, also insbesondere mit genügend hoher Konfidenz Fahrerzustand und Intentionen des Fahrers erkannt werden müssen. Diese Aspekte werden hier bewusst ausgeklammert, da sie im nachfolgenden Abschnitt behandelt werden.

B. (SITUATIONS-/UMWELT-) BEWERTUNG

Neben der bereits diskutierten Bewertung einer Erreichung der Systemgrenzen auf Grund mangelnder Konfidenz der relevanten Artefakte des Weltbildes sind weitere Bewertungen des digitalen Weltbildes unter Echtzeitanforderungen vorzunehmen:

- Zunächst ist eine Einschätzung der zeitnahen weiteren Evolution des digitalen Weltbildes auf der Basis von (probabilistischen Modellen von) Trajektorien anderer Verkehrsteilnehmer sowie des Fahrers erforderlich; dabei müssen neben verkehrskonformen Verhalten auch seltene, aber nicht vernachlässigbare Verhalten (z. B. Einscheren vor Fahrzeug unter Verletzung des Sicherheitsabstandes) berücksichtigt werden.
- Die potentiellen Weiterentwicklungen des digitalen Weltbildes müssen bezüglich ihrer automatischen Beherrschbarkeit bewertet werden um gegebenenfalls eine Aktivierung des Fahrers vorzunehmen; dies gilt insbesondere für potentielle Gefahrensituationen.

Die vorgenommenen Bewertungen haben erheblichen Einfluss auf die Gesamtsicherheit des Systems. Da hier die Bewertung vom System statt vom Fahrer vorgenommen wird ist über entsprechende Vorschriften festzulegen, wie mit potenziell möglichen, aber bei verkehrskonformem Verhalten nicht auftretenden Entwicklungen der digitalen Weltbilder verfahren werden muss. Es ist zu prüfen, ob die hierbei verwendeten Modelle über das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer standardisiert werden sollen, oder andernfalls besonderen Zulassungsregeln unterliegen müssen, welche einen gesellschaftlichen Konsens in der Risikobewertung reflektieren.

Die in der Bewertung gewonnenen Erkenntnisse sind in geeigneter Form als Teil des digitalen Weltbildes zu repräsentieren. Auch hier erscheint es sinnvoll, Informationen zur Bewertung des Weltbildes und insbesondere zu deren Evolution zwischen benachbarten Fahrzeugen auszutauschen.

C. STRATEGIEENTWICKLUNG UND -UMSETZUNG

Wird ein Umgebungsszenario als durch das System beherrschbar eingestuft, sind unter Echtzeitbedingungen Fahrführungsstrategien zu synthetisieren. Dabei ergeben sich – neben der bereits signifikanten Herausforderung der Strategiesynthese unter Echtzeitbedingungen – folgende weitere Forschungsfragen:

- Wie kann sichergestellt werden, dass auch in Fahrsituationen mit unvollständiger Umgebungsinformation eine sichere Fahrzeugführung gewährleistet wird?
- Wie kann (etwa unter Verwendung von online mitgeführten Fahrermodellen, siehe Abschnitt 6.2) sichergestellt werden, dass die Fahrzeugführung aus Sicht des Fahrers intuitiv ist und gegebenenfalls eine Reintegration des Fahrers in die Fahrführungs-aufgabe bei Erreichen der Systemgrenzen stets möglich ist?
- Sind die gewählten Strategien auch aus Sicht anderer Verkehrsteilnehmer intuitiv? Welche Auswirkungen haben die gewählten Strategien auf die gesamte Verkehrsumgebung? Tragen sie nicht nur aus Sicht des Ego-Fahrzeuges zur Erhöhung der Sicherheit bei?
- Wie können unterschiedliche Grade an Konfidenz in der Synthese von Fahrzeugführungsstrategien verwendet werden?
- Wie können gegebenenfalls durch koordinierte Manöver benachbarter Fahrzeuge potentielle Gefahrensituationen automatisch beherrscht werden, welche durch das Ego-Fahrzeug alleine nicht automatisch beherrscht werden können?
- Nach welchen Maßstäben werden Konfliktlösungsstrategien zwischen lokalen Zielsetzungen des Ego-Fahrzeuges und übergeordneter Ziele etwa der Gesamtsicherheit aller Fahrzeuge in der Umgebung des Fahrzeuges aufgelöst?
- Wie sind insbesondere in diesem Kontext mögliche, aber nicht verkehrskonforme Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer in der Strategiesynthese zu berücksichtigen?



Offensichtlich müssen die hier angeschnittenen Aufgaben der Manöver- und Trajektorienplanung lose mit höheren Planungsebenen (Missionsplanung) gekoppelt sein. So kann etwa die Entscheidung, das Ego-Fahrzeug in einen bestimmten Platoon zu integrieren, bestimmt werden durch Missionsplanungsziele; so könnten etwa Schlüsse über die Dauer des Bestehens eines einmal gebildeten Platoons auf der Basis der Kenntnis der Missionsziele der im Platoon bereits integrierten Fahrzeuge gezogen werden. Umgekehrt setzen die hier diskutierten Aufgaben der Manöver- und Trajektorienplanung voraus, dass durch tiefere Schichten der E/E Architektur eine automatische Umsetzung von Dynamikanforderungen auf der Basis von By-wire-Technologien erfolgt.

Die Verwendung von On-line-Fahrermodellen, wie auch von darauf basierenden virtuellen Copiloten, stellt für einen Teil der Fragen einen möglichen Lösungsansatz dar, der im nachfolgenden Abschnitt 6.2 weiter detailliert wird.

Die Verwendung von on-line Fahrermodellen, wie auch von darauf basierenden virtuellen Copiloten stellt für einen Teil der Fragen einen möglichen Lösungsansatz dar, der im nachfolgenden Abschnitt weiter entfaltet wird.



D. SYSTEMENTWURF UND -QUALIFIZIERUNG

Die Komplexität vollautomatisierten Fahrens, insbesondere die Überführung der sonst durch den Fahrer wahrgenommenen hochgradig komplexen kognitiven Prozesse in eine vollständig automatisierte Lösung, stellt besondere Herausforderungen an den Systementwurf und an die Qualifizierung und Zertifizierung solcher Systeme, welche sämtliche Phasen des Entwicklungsprozesses nachhaltig beeinflussen wird.

Entlang aller Phasen stellt die Einbeziehung komplexer Umweltmodelle eine wesentliche Herausforderung dar:

- Wie kann die die Erkennung der Systemgrenzen mit ausreichender Vorlaufzeit sichergestellt werden? Welche zusätzlichen Anforderungen an die Architekturkonzepte leiten sich davon ab?
- Mit welchen Maßnahmen kann die geforderte Konfidenz von digitalem Weltbild und Umwelt erzielt werden? Wie kann etwa die Konfidenz von aus der Cloud einbezogenen Daten sichergestellt werden? Welche Qualitätsmodelle können entlang der gesamten Wahrnehmungskette verwendet werden?
- Welche Maßnahmen können bzw. müssen zur Zertifizierung dieser Konfidenz getroffen werden?
- Welche Anpassungen an die ISO 26262 sind erforderlich, um angesichts der Einbeziehung hochgradig heterogener Informationsquellen (On-Board-Sensorik, Car-2-X, Cloud) im Aufbau des digitalen Weltbildes Datenintegrität und Sicherheit (Safety und Security) herzustellen und insgesamt die geforderte Konfidenz von Umwelt und digitalem Weltbild zertifizierbar sicher zu gestalten?
- Wie kann angesichts der schier Komplexität möglicher Umgebungssituationen ein Testprozess gestaltet werden, der eine genügend hohe Überdeckung gestattet?
- Welche Architekturkonzepte genügen den extrem hohen Anforderungen an funktionaler Sicherheit und Echtzeitfähigkeit für die hochgradig komplexen Verfahren in A, B, und C? Welche Systemkomponenten sind mit welchem Redundanzgrad auszulegen, um die funktionale Sicherheit zu gewährleisten? Wie ist sichergestellt, dass eine automatische Reaktivierung des Fahrers bei Erkennen von Systemgrenzen eingeleitet wird?
- Welche Maßstäbe können angesichts nicht abschließbaren Fehlverhaltens hochautomatisierter Lösungen verwendet werden, um den Trade-off zwischen zusätzlichen Risiken in der hochautomatisierten Fahrzeugführung einerseits und dem erwarteten

Anforderungen an den Entwicklungsprozess



teten Nutzen in der Reduktion von durch Fahrern verursachten Unfällen zu bewerten? Können hier z. B. vergleichende Benchmarks mit personengeführten Fahrzeugen verwendet werden?

- Kann eine Hardware-Unterstützung genutzt werden (z. B. FPGAs), um Funktionen und Algorithmen performanter zu gestalten? Wie sehen in diesem Fall Architekturkonzepte aus? Wie gestaltet sich in diesem Fall der Prozess für das sog. Hardware-/Software-Co-Design?

Eine wesentliche Herausforderung stellt der Rückfall in teilautomatisierte Fahrzeugführung dar:

- Wie kann die Beherrschbarkeit der Fahrzeugführung bei Übernahme aus potentiell komplexen und insbesondere in der Regel selten auftretenden fahrdynamischen Situationen sichergestellt werden?
- Wie kann insbesondere die „Situational Awareness“ hergestellt werden, indem dem Fahrer beispielsweise kritische Aspekte des digitalen Weltbildes dargestellt werden?
- Welche Maßnahmen zur Qualifizierung von HMIs in der Sicherstellung der „Situational Awareness“ sind erforderlich?

Rückfallebenen

Fahrermodell als digitale Repräsentation des Fahrers

Im Bereich der Strategiebildung entsteht grundsätzlich ein Forschungsbedarf nach Synthese von Fahrzeugführungsstrategien unter Echtzeitanforderungen, welche die unter C diskutierten Zielkonflikte berücksichtigen. Ebenfalls zu erforschen ist, ob die on-line Verwendung kognitiver Architekturen geeignet ist, die intuitive Nachvollziehbarkeit der hochautomatisierten Strategien sicher zu stellen.

6.1.4 WEITERE EINFLUSSFAKTOREN

Wesentliche zu klärende Rechtsfragen in Bezug auf autonomes Fahren werden in [BAST2012] dargestellt und im „Runden Tisch Automatisiertes Fahren“ des BMVBS diskutiert.

Viele der oben dargestellten Innovationen setzen eine Standardisierung der Repräsentation des digitalen Weltbildes voraus.

Ebenso notwendig ist eine hochverfügbare Car-2-Infrastructure-Kommunikation mit zertifizierbaren Quality of Service Zusicherungen.

Dargelegt wurden in den vorigen Abschnitten die Notwendigkeit, einen gesellschaftlichen Konsens zu der Übertragung sicherheitsrelevanter Risikoabwägungen an vollautomatisierten Verfahren herzustellen, der sich auf die zu klärenden Rechtsfragen, aber auch etwa auf die Fortschreibung der ISO 26262 auswirken muss.

Eine begleitende Akzeptanzforschung ist unabdingbar.

Die Beiträge hochautomatisierten Fahrens zum Umweltschutz (z. B. CO₂ Reduktion, geringerer Verbrauch durch Platooning) sollten durch entsprechende Boni berücksichtigt werden.

6.2 FAHRERMODELLE

Die Automatisierung von Fahrfunktionen einerseits, wie auch die Individualisierung des Fahrzeugs andererseits erfordern jeweils sehr gute Modelle des Fahrers. Diese werden in der Fahrzeugsoftware genutzt werden, um die Fahrzeugfunktionen auf die Fähigkeiten und Fertigkeiten des Fahrers anzupassen bzw. sich auf seine Wünsche und Bedürfnisse einzustellen. Das Fahrermodell stellt dabei eine Abstraktion des realen Fahrers dar, welche in den für die Fahraufgabe relevanten Aspekten hinreichend genau sein muss um die Anpassung der Fahraufgabe oder die Individualisierung des Fahrzeugs im Rahmen der gesetzten Qualitätsziele zu erreichen. Beispiele für Informationen, die aus dem Fahrermodell bezogen werden können, sind die typische Reaktionszeit zum Betätigen der Fußbremse nach Erkennen eines Hindernisses oder die Kenntnis von für den Fahrer angenehmen Umgebungstemperaturen oder Lautstärken.

Bei den verschiedenen Realisierungsstufen für automatisiertes Fahren (vgl. 6.1) ist der Fahrer Teil der Regelschleife (human-in-the-loop). Dies erfordert beispielsweise eine kontinuierliche Erfassung des Fahrerzustands durch das Fahrzeug, um sicherzustellen, ob der Fahrer seine ihm zugeordnete Aufgabe ausführen könnte, z. B. innerhalb von 5 Sekunden die Kontrolle des Fahrzeugs zu übernehmen. Daraus kann dann ggf. eine Adaption der Fahrfunktion (z. B. Reduktion der Geschwindigkeit) resultieren. Da hiermit in der Regel Aspekte der Funktionssicherheit verbunden sind, ist die Güte des Fahrermodells ein kritischer Faktor für die Verlässlichkeit solcher Systeme.

Die Möglichkeiten der Individualisierung mit Fahrermodellen betreffen überwiegend das Fahrererlebnis (user experience) und die Produktivität des Fahrers am Fahrer Arbeitsplatz und schließen Aspekte unterschiedlicher Lebensbereiche ein, wie beispielsweise individuelle Vorlieben für Musik, Kultur und Sport oder den persönlichen Kalender mit Kundenterminen.

Im Gesamtkontext dient das Fahrermodell dazu, die für die Fahraufgabe relevanten Aspekte eines realen Menschen als sogenannten „virtuellen Fahrer“ in Software zu implementieren, der gemeinsam mit der Steuerungssoftware im Fahrzeug, welche abstrakt gesehen ein virtuelles Fahrzeug implementiert, eine Fahraufgabe umsetzt. Aufgrund der Wechselwirkung und Einbettung in die Umwelt ist eine kontinuierliche Beobachtung der Realität notwendig. Die Zusammenhänge sind in nachfolgender Abbildung schematisch dargestellt:

Die Umsetzung der realen Fahraufgabe wird – je nach gewähltem Autonomiegrad – zu unterschiedlichen Anteilen vom realen menschlichen Fahrer und dem in Software und Elektronik implementierten Modell (in der Abbildung links) erreicht. Dabei wird das Fahrermodell entsprechend dem aktuellen Fahrerzustand des menschlichen Fahrers ausgewählt und angepasst. Neben dem Fahrermodell tragen auch Modelle des Fahrzeugs (z. B. für Fahrdynamik) zur Umsetzung einer Fahraufgabe bei, die wesentlich vom aktuellen Fahrzeugumfeld und -status mit beeinflusst werden.

Die Erstellung und Implementierung solcher Fahrermodelle und der notwendigen Ausführungsumgebung stellen derzeit noch eine große Herausforderung dar und benötigen eine Reihe von Fähigkeiten, Fertigkeiten und Technologien, welche vielfach noch nicht in der benötigten Qualität vorhanden sind. In den nachfolgenden Abschnitten werden die notwendigen Fähigkeiten, Fertigkeiten und Technologien für realitätsgetreue Fahrermodelle näher beschrieben.

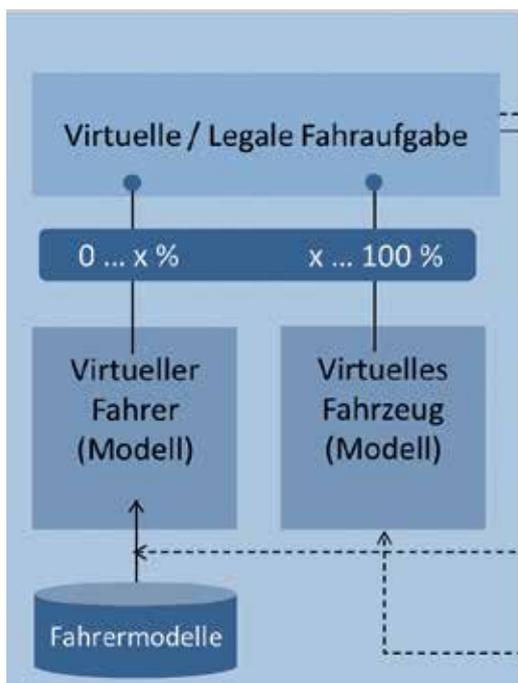
Individualisierung von Fahrermodellen

6.2.1 CAPABILITIES: FÄHIGKEITEN UND FERTIGKEITEN

Die Modellierung eines **virtuellen Fahrers** als ein in Echtzeit ausführbares Modell erfordert die genaue Spezifikation der Aufgaben sowie die Validierung des Modells mit realen Probanden. Eine Herausforderung stellen die **Identifikation der wichtigsten Einflussfaktoren** und Parameter des enthaltenen individualisierbaren **Fahrermodells** dar, sowie die Beziehungen

Individualisierbare Fahrermodelle

Modell im Fahrzeug



Realität (Fahrzeug)

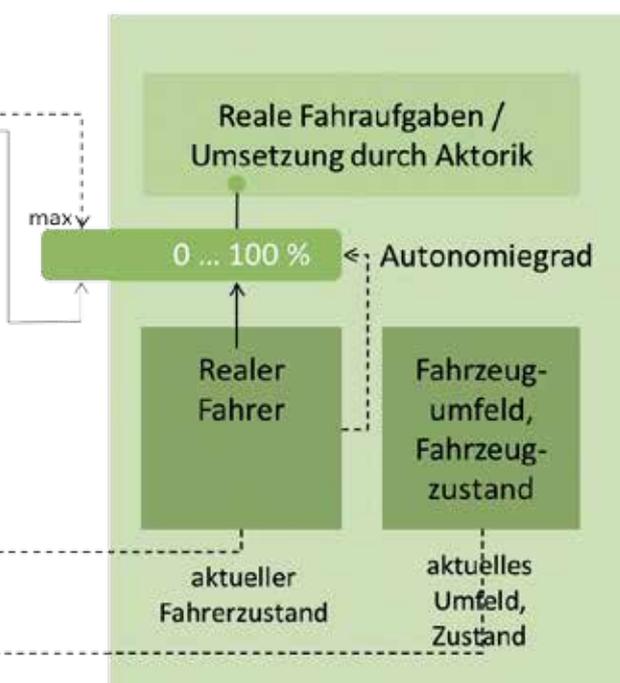


Abbildung 1

Einbeziehung des Zustands des realen Fahrers und der Fahrsituation

zwischen diesen und schließlich deren Abbildung in einem regelungstechnischen Modell. Derzeitige Ansätze eines Fahrermodells sind darüber hinaus verteilt implementiert, d.h. jede Funktion beinhaltet nur einen Ausschnitt; ein zentrales, **integriertes Fahrermodell** erfordert entsprechende Anpassungen an der Fahrzeug-Systemarchitektur, was eine große Herausforderung darstellt.

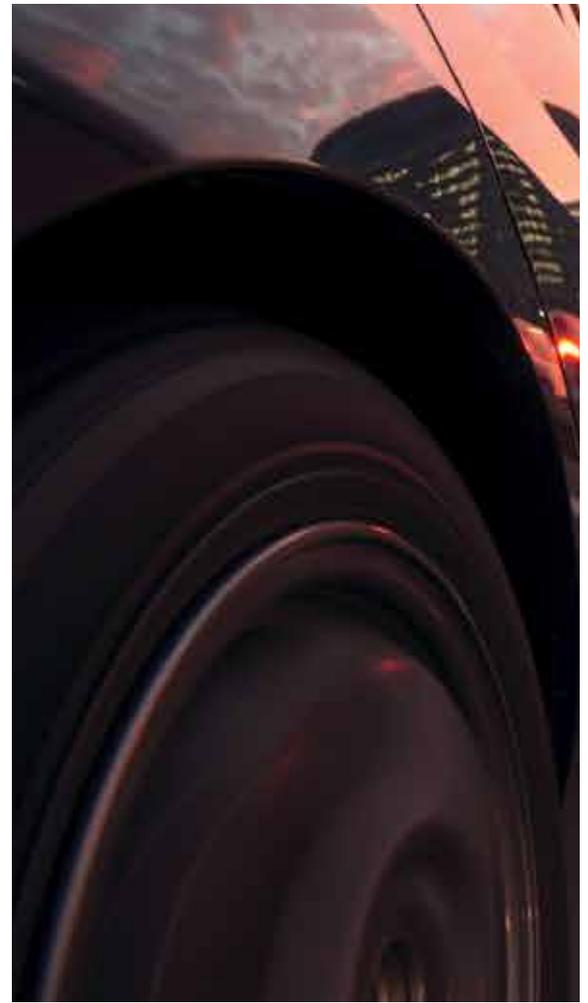
Der Einbeziehung der Umwelt kommt dabei eine besondere Rolle zu: Der **Fahrerzustand** ebenso wie die **Fahrsituation** (inkl. Umfeld) müssen sicher erkannt werden und dienen als Eingangsgrößen für das Fahrermodell. Hier bestehen noch vielfältige offene Fragen, z. B. bei der Sensorik und der geeigneten **Sensordatenfusion und Datenauswertung**. So verschieden wie die realen Fahrer im Straßenverkehr, so verschieden könnten auch die Fahrermodelle der virtuellen Fahrer sein. Es wäre denkbar, solche Modelle zentral zu verwalten und über **Cloud-Dienste** Fahrermodelle situationsgerecht adaptiert zur Verfügung zu stellen.

In der Modellwelt realisiert der virtuelle Fahrer gemeinsam mit einem **virtuellen Fahrzeug** eine Fahraufgabe. Diese Realisierung erfolgt vollständig Softwaregesteuert und muss im Hinblick auf die funktionale Sicherheit entsprechenden Standards genügen. Dabei stellt ein **Sicherheitskonzept**, welches die Variabilität bei Fahrern und Umgebung mit einbezieht, eine Herausforderung dar, insbesondere wenn das Verhalten zur Entwicklungszeit nicht deterministisch festgestellt werden kann. Eine **Sicherheitsbewertung zur Laufzeit** ist notwendig – eine Technologie, welche heute noch nicht existiert.

Schließlich sollte die **Fahrerintention** erkannt werden, um den virtuellen Fahrer gemäß der Erwartung der Passagiere auszuprägen. Dieser Bereich wurde bisher wenig erforscht und es existieren daher bisher nur ansatzweise Lösungen. Verfahren aus der Künstlichen Intelligenz und aus der verhaltensbasierten Steuerung sind aufgrund ihrer Eigenheiten aus Sicht der funktionalen Sicherheit derzeit nicht einsetzbar.

Über das Fahrzeug hinaus kann ein Fahrermodell auch genutzt werden, um Funktionen im Backend, z. B. Mobilitätsdienste allgemein, entsprechend zu personalisieren. Dies wirft die Frage auf, wo im System der Nutzer abgebildet wird – im Fahrzeug, im Backend oder parallel in beiden.

Sicherheitskonzept



6.2.2 TECHNOLOGIEN

Viele Technologien zur Erlangung entsprechender Fähigkeiten müssen noch entwickelt und erforscht werden. Im Folgenden werden einige Anknüpfungspunkte und Schlüsseltechnologien benannt, welche im Kontext der Fahrermodelle als essentiell angesehen werden:

- Sensorik zur Erfassung des Fahrerzustands**, beispielsweise Stress, Ermüdung, Unwohlsein oder andere die Bewältigung der Fahraufgabe beeinflussende Krankheitszustände, Aufmerksamkeit/Konzentration, Reaktionsfähigkeit usw.
- Adaption von Modellen** (Lernfähigkeit und Präzisierung) **zur Laufzeit** – kurzfristig aber auch über einen längeren Zeitraum hinweg.
- Definition (möglichst standardisierter) **semantischer Modelle** für Fahraufgaben, Fahrerintention und Fahrsituation und entsprechende Ausführungsumgebungen.
- Flexible Erweiterbarkeit** des virtuellen Fahrzeugs, **zur dynamischen Funktionserweiterung** (z. B. Integration von Gesundheitsdaten, Überwachung des Gesundheitszustands als App nachladbare Funktionserweiterung während der Lebensdauer des Fahrzeugs).



6.3 BASIS-SOFTWARE UND LIFE-TIME ADAPTABILITY

6.3.1 ZEITLICHE ANORDNUNG

Aus der zu erwartenden Konvergenz der Personal-IT in die Automobile der Zukunft folgt zwangsläufig, dass die Fähigkeit, während der Nutzungszeit des Fahrzeugs neue Funktionen oder Dienste zu integrieren, besonderes Gewicht erhält. Hier sind unterschiedliche Zeithorizonte zu unterscheiden. Wir betrachten im Folgenden den aktuellen Stand der Technik, eine „Short-Term“ (nächste 3 Jahre), eine „Medium-Term“ (in 5-7 Jahren) und eine „Long-Term“-Perspektive (2025-2030).

Der Stand der Technik ist dadurch geprägt, dass der Nachlade-Prozess vollständig unter der Kontrolle des OEMs ist. Standard ist das Flashen von Software-Upgrades über die dafür vorgesehenen Geräte („Tester“) in der Werkstatt. In begrenztem Umfang kann dabei auch neue Funktionalität („Software as a product“) nachgekauft und in der Werkstatt freigeschaltet werden, z. B. Komfortfunktionen im Licht-Bereich. In der Infotainment-Domäne kann der Kunde die Upgrades selbst mit Hilfe von CDs oder DVDs des OEMs durchführen. „Third-party Apps“ werden vom OEM oder vom Anbieter in enger Kooperation mit dem OEM an die Fahrzeug-HMI angepasst. Es existieren bereits OEM-Apps, die auf Fahrzeugdaten zugreifen können. Bei der Verwendung externer Dienste steht noch die Kommunikation mit dem Backend beim OEM im Vordergrund.

Kennzeichnend für die Short-Term-Perspektive ist, dass der OEM die Kontrolle über das Nachladen fahrzeugrelevanter Funktionalität insoweit abgibt,

dass er nur noch die Umgebung kontrolliert, in der dies passiert. Die Technologie wird sich ändern, insbesondere wird sich das drahtlose Flashen (in der Werkstatt) stärker durchsetzen. Im Bereich der App-Integration können schon jetzt unterschiedliche Ansätze beobachtet werden, welche die vollständige Kontrolle des OEMs über die Interaktion mit der Fahrzeug-HMI aufbrechen. Ein Beispiel ist das Konzept „ApLink“ von Ford, das die Zugriffsmöglichkeit auf HMI-Elemente als offene Schnittstelle definiert, gegen die beliebige App-Anbieter programmieren können.

In der Medium-Term-Sicht wird der OEM noch die Software kontrollieren, die den Integrationsprozess steuert. Auf dieser Basis kann das Nachladen und Upgraden dann an jedem beliebigen Ort geschehen, auch von Software von Drittanbietern. Dabei wird die drahtlose Funkschnittstelle zum Standard werden. Auch die Initiierung und Bedienung des Nachladeprozesses wird nicht mehr in örtlicher Nähe des Fahrzeuges geschehen müssen, sondern kann als „Remote-Update“ von anderen Orten über mit dem Internet verbundene Geräte geschehen.

Schließlich ist in der Long-Term-Perspektive zu erwarten, dass der Endkunde eigene Anwendungen mit Zugriff auf Fahrzeugdaten entwickeln kann. Dazu wird es vom OEM oder durch den OEM zertifizierte Software-Development-Kits (SDKs) geben. Dies wird hohe Anforderungen an die Absicherung dieser Software stellen, die zwangsläufig durch zusätzliche, automatisch ablaufende Mechanismen (siehe folgende Abschnitte) geschehen wird. Im Falle von Problemen und Defekten ist es denkbar, dass geeignete Software zur „Selbstheilung“ nachgeladen werden kann.

Integration neuer Dienste und Funktionalitäten während der Nutzung

Apps von Drittanbietern

6.3.2 FÄHIGKEITEN UND TECHNOLOGISCHE HERAUSFORDERUNGEN

Zur Beherrschung und Gestaltung der allgegenwärtigen Einbeziehung von externen Verbindungen und Diensten in den oben geschilderten Features zukünftiger Basis-Software werden folgende Fähigkeiten benötigt:

- Möglichkeit des Updates und der Rekonfiguration vorhandener Funktionen und der Integration neuer Funktionen
- Beherrschung der erhöhten Anforderungen an die funktionale Sicherheit (Safety)
- Beherrschung der erhöhten Anforderungen an die Informationssicherheit (Security)
- Validierung und Qualitätssicherung zur Laufzeit
- Intelligente Diagnoseverfahren

Die besonderen Anforderungen und mögliche technologische Ansätze für diese fünf besonders relevanten Fähigkeiten werden in den folgenden Abschnitten näher behandelt.

A. Integration neuer Funktionen, Update und Rekonfiguration

Die gegenüber dem Stand der Technik in der Basissoftware erforderlichen Technologien zur Integration neuer oder aktualisierter Funktionen in Steuergeräte aus den klassischen Fahrzeugdomänen²⁴ unterscheiden sich hinsichtlich der folgenden Ausbaustufen:

1. Inkrementelle Nachrüstbarkeit einzelner Software-Komponenten im Feld auf dem angestammten Steuergerät (d.h. ohne vollständiges „Flashen“ einzelner Steuergeräte)
2. Inkrementelle Nachrüstbarkeit einzelner Software-Komponenten im Feld auf bisher dazu nichtverwendetem bzw. ursprünglich dafür nicht geplantem Steuergerät
3. Nachrüstung von Software-Komponenten bei gleichzeitiger, statisch festgelegter Rekonfiguration (d.h. Translation von Software-Komponenten zwischen Steuergeräten, statisches Deployment)
4. Nachrüstung von Software-Komponenten bei gleichzeitiger, dynamischer Rekonfiguration (d.h. im Fahrzeug automatisiert festgelegter Translation von Software-Komponenten zwischen Steuergeräten, dynamisches Deployment)
5. Nachrüstung von Software-Komponenten während des Fahrzeugbetriebs²⁵

²⁴ Der Stand der Technik hinsichtlich reiner Infotainment-Systeme ist ein anderer und wird an dieser Stelle nicht mitbetrachtet.

²⁵ Weitere Unterscheidungen, z. B. hinsichtlich statischem bzw. dynamischem Deployment können hierzu ebenfalls sinnvoll sein, werden an dieser Stelle aus Platzgründen jedoch nicht gemacht.



Für diese Ausbaustufen ergeben sich voraussichtlich erforderliche technologische Änderungen gegenüber dem Stand der Serientechnik von Steuergeräten der klassischen Fahrzeugdomänen:

Zu 1) Dynamisches Linken, Hardware-gestütztes Memory Management mit möglichst geringer interner Fragmentierung (z. B. segmentbasierte Memory Management Units), Schedulingverfahren für offene Taskmengen (z. B. auf Basis dynamischer Prioritäten und zugehöriger Admissionstests), geeigneter Betriebssystemstandard (z. B. angepasstes AUTOSAR), Silent End-of-line Tests.

Zu 2) wie 1, zusätzlich fahrzeugindividuelles offline Management von Ressourcen beim OEM, zur Systemstartzeit anpassbares fahrzeugweites Kommunikationsprotokoll (zur Startzeit rekonfigurierbares AUTOSAR RTE über Steuergerätegrenzen hinweg)

Zu 3) wie 2, zusätzlich Verteilungsmanagementsoftware im Fahrzeug mit Vorhaltung entsprechender Ressourcen inklusive geeigneter Busanbindung aller relevanten Steuergeräte

Zu 4) wie 3, zusätzlich aktives Ressourcenmanagement inklusive statische Lastverteilung unter

Einhaltung der Echtzeitanforderungen zwischen Steuergeräten und Verifikation funktionaler und nicht-funktionaler Systemeigenschaften unter Beteiligung fahrzeugeigener Verifikationssoftware (siehe eigener Punkt On-line-Verifikation)



Zu 5) wie 4, zusätzlich dynamische Lastverteilung mit Redundanzmanagement, dynamisches fahrzeugweites Mode-Management, On-line-Verifikation in Echtzeit

Begleitend bedarf es hier entsprechend standardisierter Schnittstellen und einer weitergehenden Standardisierung der entsprechenden Basisdienste.

Bezüglich der wachsenden Anzahl von Infotainment-Funktionen und der zunehmenden Integration der Personal-IT ins Fahrzeug ergeben sich Bedarfe hinsichtlich geeigneter Technologien, die eine Vorwärtskompatibilität zu persönlichen digitalen Geräten, neuartigen Mensch-Maschine-Schnittstellen und digitalen Inhalten/Formaten erlauben. Neben entsprechend flexibler Software und den dazu erforderlichen Plattformdiens-

ten können hier insbesondere auch rekonfigurierbare Hardware-Elemente als Schnittstellen erforderlich werden. Weiterhin bedarf es standardisierter Schnittstellen für den Zugriff der Fahrzeugelektronik auf persönliche Daten sowie die Bereitstellung von Fahrzeugdaten für Cloud- und Social Media Dienste. Insbesondere sind herstellerübergreifende Lösungen für die Datenhaltung individueller Vorlieben und Charakteristika von Passagieren (beispielsweise Sitz-, Klima-, Infotainment-Einstellungen, aber auch Bestandteile digitaler Fahrermodelle) und deren Übertragbarkeit auf andere Fahrzeuge oder Geräte erforderlich. Dabei muss auch der Integration nicht fahrzeugeigener Sensoren Rechnung getragen werden, z. B. im Falle körpernaher Sensorik.

Hinsichtlich zu standardisierender Schnittstellen besteht langfristig die Notwendigkeit semantischer Schnittstellen als Basis für die Anpassbarkeit und Konnektivität zu neuen Diensten. Dies gilt insbesondere auch vor dem Hintergrund des verstärkten Bestrebens zur Erschließung weiterer Domänen (z. B. für Dienste in den Bereichen Gesundheit oder Logistik zu beobachten).

B. Aspekte der funktionalen Sicherheit bei der Integration neuer Funktionen und Rekonfiguration von (Teil-)Systemen

Betrachtet man einzelne Änderungen (Updates) so muss für diese die Freiheit von schädlichen Einflüssen auf andere Systemkomponenten sichergestellt werden. Dies betrifft nicht nur unmittelbare funktionale Zusammenhänge sondern insbesondere auch den Ressourcenbedarf und das Echtzeitverhalten des Systems sowie für die Gefährdung der funktionalen Sicherheit relevante Aspekte.

Besonders hohe Ansprüche diesbezüglich stellen sich, wenn Funktionen unterschiedlicher Kritikalität – wie etwa Infotainment-Funktionen und Fahrzeugfunktionen – auf der gleichen Hardware ausgeführt werden. Hierfür werden Technologien notwendig, die eine enge Verzahnung und das Teilen von Ressourcen zwischen den genannten Systemteilen in einer Form erlauben, welche die funktionale Sicherheit der Fahrzeugfunktionen nicht gefährdet. Diese Technologien müssen so gestaltet sein, dass die stark voneinander abweichenden Entwicklungsparadigmen für sicherheitsrelevante Echtzeitsoftware und Infotainment-Anwendungen für den jeweiligen Entwickler weitestgehend beibehalten werden können.

Funktionale Sicherheit

Besonders geeignet erscheint die Kombination verschiedener Methoden zur Verifikation von Softwareeigenschaften (z. B. statische Programmanalyse, Model Checking) in Verbindung mit Mechanismen zur Überwachung/Erzwingung von Laufzeiteigenschaften.

Zusätzlich zur weitest möglichen Sicherstellung der Einflussfreiheit muss dem Risiko nicht a priori erkennbarer Wechselwirkungen Rechnung getragen werden. Hierzu bedarf es neuer Ansätze, die eine Überwachung, Plausibilisierung und sicherheitsbedingte Eingriffe während des Fahrzeugbetriebes erlauben. Diese müssen die Einhaltung klar definierter Sicherheitskriterien quer über Funktions- und Systemgrenzen hinweg sicherstellen.

Darüber hinaus sind geeignete Dienste und Schnittstellen erforderlich, die eine frühzeitige Erkennung von Anomalien ermöglichen. Langfristig bedarf es hierzu unter Umständen der permanenten Sammlung und zentralisierten Auswertung von Diagnosedaten in Echtzeit.

Aus der Perspektive funktionaler Sicherheit (Safety) ergeben sich erheblich steigende Anforderungen an Methoden/Techniken zur Wahrung der Verfügbarkeit und Integrität der Systeme. Der sich hier zwangsläufig ergebende Verzahnung mit der IT-Sicherheit (Security) muss auf allen Ebenen sowohl bei der Entwicklung als auch im Betrieb mit geeigneten Technologien Rechnung getragen werden.

C. Beherrschung der erhöhten Anforderungen an die Informationssicherheit (Security)

Die Einführung neuer und offener Schnittstellen zum Fahrzeug und die Möglichkeit des Nachladens und Anpassens von Software während der Laufzeit schaffen neuartige Gefährdungsszenarien hinsichtlich der Informationssicherheit, für die geeignete Vorkehrungen in Form von Prozessen, Architekturen, Protokollen, aber auch durch Dienste auf Ebene der Basis-Software getroffen werden müssen. In der Short-Term-Perspektive betrifft dies zurzeit noch die ungewollten Zugriffe auf den nicht-flüchtigen Speicher und wird vor allem durch den Ausbau der aktuell schon existierenden Schutzmechanismen (z. B. Autorisierung von Zugriffen auf Flash-Speicher, Erkennung von Software-Manipulation durch „Chip-Tuning“, etc.) und die Übertragung von erfolgreichen Security-Mustern aus der Büro-IT (Firewalls, Virens Scanner, etc.) in die Fahrzeug-Software geschehen.

Die Medium-Term-Perspektive rücken die Bedrohungen zur Laufzeit, insbesondere über die durch die Vernetzung geschaffenen Kommunikationsschnittstellen und das Nachladen von Software, in den Mittelpunkt. Ein zunehmend wichtiger werdender Aspekt ist dabei die Vertraulichkeit privater Daten (Privacy). Zu ihrem Schutz werden Basis-Dienste benötigt, die u. a. sichere Kommunikationskanäle, effiziente Verschlüsselung sowie zuverlässige Anonymisierung und Pseudonomisierung ermöglichen. Die entsprechenden Privacy-Dienste müssen sich an veränderte Bedrohungsszenarien anpassen lassen können, z. B. durch Updates der Kryptografieverfahren. Der Fahrer bzw. Nutzer sollte ein Rechtemanagement für seine Daten (die auch aus während der Fahrt im Fahrzeug erfassten technischen Daten bestehen können) zur Verfügung haben, mit dem Daten unterschiedliche Vertraulichkeitsstufen zugeordnet werden können und damit skalierbar definiert wird, welche Funktionen und Dienste auf welche Daten zugreifen können. Bezüglich des Verhinderns bzw. Erkennens von Manipulationen über Kommunikationsschnittstellen oder durch nachgeladene Software werden Dienste zur Zertifizierung von Software, zur verlässlichen Authentifizierung von zugreifenden Dritten, gegebenenfalls in Verbindung mit einem Trust-Center, zur Intrusion Detection sowie zur Quarantäne und Isolation verdächtiger Software-Einheiten benötigt.



Für die Long-Term-Perspektive ist insbesondere die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und von Fahrzeugen mit der Infrastruktur von Bedeutung. Neben manipulationssicheren Kommunikationskanälen werden Dienste zur Plausibilisierung von Sensordaten und der von anderen Fahrzeugen übermittelten Informationen benötigt. Dies wird Redundanz erfordern, mit der zum Beispiel durch „Jamming“ oder „Spoofing“ (siehe auch nächsten Abschnitt) gestörte bzw. verfälschte Signale erkannt und korrigiert werden können.

Es ist darüber hinaus zu erwarten, dass die Entwicklung security-kritischer eingebetteter Systeme im Automobil durch die Einführung von Normen und Standards einheitlichen Anforderungen unterworfen werden wird. Genauso, wie die ISO 26262 für safety-relevante Systeme nach dem Vorbild anderer Industriebranchen eingeführt wurde, liegt es nahe, auch im Security-Bereich die Übertragbarkeit von existierenden Normen zu prüfen. Insbesondere die in der Produktions- und Automatisierungstechnik angewendete Security-Norm IEC 62443 könnte eine Basis dafür sein.

tizität und Integrität von Daten sicherstellen, welche innerhalb der E/E Architektur eines Fahrzeugs und zwischen Fahrzeugen ausgetauscht werden. Gerade im Hinblick auf Fahrerassistenzsysteme, die in den kommenden Jahren das automatisierte Fahren gepaart mit C-2-C Kommunikation realisieren werden, ist es unverzichtbar, z.B. durch Spoofing denkbare sicherheitskritische Szenarien auszuschließen, die in aktuellen E/E Architekturen noch denkbar sind.

Bereits heutzutage ist die Varianz von Steuergeräten und Softwarefeatures in Premium Fahrzeugplattformen beinahe unüberschaubar. Durch das anhaltende Innovationstempo -insbesondere im Bereich der vernetzten Funktionen - und den Trend, Features im Feld durch Nachladen von Software einem laufenden System hinzuzufügen, ist eine a priori Verifikation zum Entwicklungszeitpunkt beim Fahrzeughersteller in Zukunft nicht mehr realistisch. Zukünftige Automobilsysteme müssen daher in der Lage sein ihre E/E Architektur on-line, d.h. am Bandende oder im Feld, auf korrektes funktionales Verhalten zu verifizieren. Dazu



Sie definiert unter anderem den Automotive-Safety-Integrity-Levels (ASIL) vergleichbare „Security Levels“, die die Bedrohungsintensität anhand des Angriffsaufwandes klassifizieren. Solche Konzepte wären auch für eingebettete Systeme in Automotive-Anwendungen nützlich, um zu industrieweit einheitlichen Anforderungen und wirksamen Lösungen zu kommen.

D. On-line-Validierung und Qualitätssicherung

Ein wichtiger Baustein für die Basismechanismen zukünftiger Automobilsysteme sind Security Protokolle und kryptografische Spezialhardware, die die Authen-

muss – neben der Implementierung der Funktionalität einer Komponente – eine formale Spezifikation der Schnittstellen und des erwarteten korrekten funktionalen Verhaltens vorliegen. Da die im Automobil vorliegenden Funktionalitäten zu einem signifikanten Anteil hybrider Natur sind (d.h. gemischt diskret und kontinuierlich), werden insbesondere Verifikationstechniken für hybride Systeme in Zukunft eine große Rolle spielen. Es ist denkbar und wahrscheinlich, dass diese Verifikation aus Rechenleistungsgründen in der Cloud durch einen vom Hersteller angebotenen Verifikationsdienst durchgeführt wird.

Für moderne Assistenzfunktionen sowie automatisierte und autonome Fahrfunktionen ist die große offene Forschungsfrage, wie bei der Verifikation mit Unsicherheiten in der Wahrnehmung der Umwelt und der Situation systematisch umgegangen werden kann. Momentan wird diesen Unsicherheiten mit exzessivem Testen langer Szenarien-Kataloge begegnet. In Zukunft wird dieser Ansatz nicht mehr tragfähig sein. Es ist allerdings noch nicht abzusehen, welche Ansätze und Technologien hier Abhilfe schaffen können.

Durch geeignete Plattformmechanismen und den Einsatz modell-basierter Methoden kann eine Verifikation signifikant vereinfacht werden. Beispiele sind Hypervisortechnologien zur Sicherstellung von „Freedom from interference“ („divide-and-conquer“) sowie deterministische Berechnungsmodelle in der Ablaufsteuerung (synchrone Semantik, Logical Execution Times).

Ein weiterer Basismechanismus, der in zukünftigen Automobilsystemen zur Erhöhung der Robustheit und Flexibilität Einzug finden wird, ist die Selbstadaption der E/E-Architektur. Durch Rekonfigurations-Mechanismen wird der Raum der funktionierenden Systemvarianten erhöht, sowie dem System die Fähigkeit verliehen sich im Fehlerfall selbst zu heilen. Denkbare Technologien reichen von der Adaption des Laufzeitverhaltens (Scheduling, Kommunikation) bis hin zum Umkonfigurieren von Softwarepaketen (z. B. Reglern) auf der Basis von Lernverfahren.

E. Intelligente Diagnoseverfahren

Die in den vorherigen Abschnitten diskutierte Adaptivität der eingebetteten Systeme über den gesamten Lebenszyklus eines Automobils wird besondere Anforderungen an das Erfassen, Loggen und Analysieren von Daten stellen. Diese Anforderungen entstehen

einerseits durch den Informationsbedarf von Funktionen und Diensten, um möglichst effizient und gut Anpassungen durchführen zu können. Andererseits wird es durch die Möglichkeit der Adaption zunehmend notwendig sein, im Falle von Fehlfunktionen (z. B. nach dem Laden einer neuen Softwareversion) die Ursachen und kausalen Zusammenhänge zu identifizieren.

Die Basis-Software wird daher schon mittelfristig erweiterte Diagnosedienste zur Verfügung stellen müssen. Dazu gehören z. B. ein Logging aller relevanten Speicherzugriffe und Ladevorgänge, ein Health Monitoring aller Komponenten und die Erfassung der dazugehörigen Zustandsdaten. Die verfügbaren Ressourcen (Speicher, Rechenzeit, Bus) müssen jederzeit verfügbar sein, z. B. für Dienste des Herstellers, die Software in das Fahrzeug laden wollen. Leistungsdaten müssen erfasst werden, um mit Hilfe von Historien und Trenddaten z. B. eine langsame Leistungsverringern zu erkennen. Schließlich wird auch eine Black-Box-Funktionalität zur Unfallanalyse benötigt.

Ein wichtiger Aspekt bei der Diagnose bleibt die Schadstoff- und Umweltproblematik. Es ist zu erwarten, dass die entsprechenden Anforderungen strenger werden und z. B. der individuelle CO₂-Footprint jederzeit erfasst und geloggt wird. Denkbar ist, dass diese Information auch bei den Hauptuntersuchungen zur Aufstellung einer Schadstoffbilanz ausgelesen werden können muss.

6.4 ENTWICKLUNGSPROZESS UND -WERKZEUGE

Die Leistungsfähigkeit des Entwicklungsprozesses ist ein limitierender Faktor für die Komplexität der entwickelten Funktionen und Fahrzeuge. Wiederverwendung



und Vernetzung von Fahrzeugfunktionen können mit den bestehenden Vorgehensweisen nicht beliebig gesteigert werden, sondern werden zu sinkender Qualität und drastisch steigenden Entwicklungskosten führen.

Zum besseren Verständnis werden im Folgenden die erforderlichen Fertigkeiten der Entwickler analog zu den Phasen in einem V-Modell dargestellt. Generell ist aber auch davon auszugehen, dass das klassische V-Modell die erwarteten Anforderungen nicht mehr erfüllt, sondern agile Methoden sehr viel stärkeren Einzug finden. Weitere allgemeine Fertigkeiten sind im Anschluss beschrieben.

6.4.1 CAPABILITIES: FÄHIGKEITEN UND FERTIGKEITEN

In der Phase der **Anforderungsklä rung** müssen Hersteller wie Zulieferer in der Lage sein, die sich sukzessive konsolidierenden Anforderungen an das zu entwickelnde System oder die Funktion systematisch und widerspruchsfrei zu erfassen. Eine Beschränkung auf die reine Funktionalität muss dabei vermieden werden; auch die nicht-funktionalen Anforderungen sind zu beschreiben. Zur Beherrschung der Komplexi-



tät von System und Kooperationsstrukturen müssen Architekturen aufgebaut werden, um das System bereits in der Anforderungsphase zu zerlegen. Die Schnittstellen der einzelnen zu entwickelnden System-

komponenten müssen vollständig in allen Dimensionen erfasst werden, damit die parallele Entwicklung durch Hersteller und in der Regel verschiedene Zulieferer mit einer erfolgreichen Integration abgeschlossen werden kann. Gegen eine Sprachverwirrung, die zu Brüchen in der Entwicklung führt, kann ein branchenweites Glossar dienen. Als ein Teil der Anforderungsspezifikation werden auch die prozessualen Regeln vereinbart, um etwa agile Prinzipien der Entwicklung zu verankern: In welchem Zyklus werden Anforderungen aktualisiert und unter den Entwicklungspartnern abgestimmt? Wie werden Zwischenergebnisse abgenommen? Der Hersteller muss, analog zur bereits etablierten stufenweisen Integration, in der Lage sein, auch die Entwicklung stufenweise zu planen und zu organisieren. Für den Hersteller ist es essentiell, Kundenanforderungen in Systemanforderungen übersetzen zu können.

Anforderungsdefinition

Die **Systemarchitektur**, auf deren Basis die kunden-relevanten Anforderungen erhoben und soweit verfeinert wurden, dass Entwicklungsvereinbarungen getroffen werden können, ist das zentrale Artefakt für die frühe Absicherung des Systementwurfs. Unterschiedliche Systemvarianten sind an Hand der Systemarchitektur darstellbar und prüfbar. So können bereits am Systemmodell die für den Kunden sichtbaren Funktionen erprobt und geschärft werden. Die Interaktion und auch Nebenwirkungsfreiheit von Funktionen werden für unterschiedliche Anwendungsszenarien untersucht und nachgewiesen, dass das Zeitverhalten angemessen ist und die Eigenschaften der Regelung den Kundenerwartungen entsprechen. Die Systemarchitektur ist dazu ausführbar und um die notwendigen Strecken- und Fahrermodelle ergänzt. Für die einzelnen an der Entwicklung beteiligten Hersteller und Zulieferer stehen die zur Absicherung der jeweiligen Entwicklung notwendigen Teilmodelle bereit. Der Hersteller kann auf der Grundlage der Systemarchitektur die Entwicklungsergebnisse der Zulieferer und der eigenen Entwicklungsbereiche zu idealerweise beliebigen Zeitpunkten integrieren und erproben. Durch die detaillierte Definition der Schnittstellen wird dabei sichergestellt, dass das spezifische Knowhow der Zulieferer auch im Zuge der Integration nicht offengelegt wird.

Systemarchitektur

Ausführbare Systemkomponenten sind in der Regel als eingebettetes System realisiert. Die Implementierung erfolgt als Software-Komponente, die auf einem Steuergerät platziert wird. Die Organisation aller Software-Komponenten auf einem Steuergerät wird über eine **Software-Architektur** beschrieben. Für

viele Funktionen und Steuergeräte wird die Architektur Konzepte von AUTOSAR anwenden. Die Bereitstellung von Software-Komponenten mit den entsprechenden ausführbaren Codeeinheiten sind dann die Bausteine, aus denen eine lauffähige Software-Architektur auf einem AUTOSAR Steuergerät zusammengestellt wird. Mit der Definition der entsprechenden Komponenten in der Software-Architektur wird die Software-Integration bereits am Anfang der Entwicklung geplant. Die Relokation von Software-Komponenten zwischen Steuergeräten unterstützt die Wiederverwendung von Software über unterschiedliche Systemarchitekturen hinweg. Die Software-Architektur ist dabei unabhängig vom Entwicklungsparadigma (etwa C-Code, interpretierter Code, Domain Specific Languages, modellbasierte Entwicklung), in dem die Software-Komponenten erstellt werden, und erlaubt die Integration heterogen entwickelter Software-Komponenten.

Fehlertoleranz

Integration von Software-Komponenten

Die Software-Architekturbeschreibung eines Systems erhält verstärkte Bedeutung für die **Integration von** zur Entwicklungszeit noch nicht bekannten **Software-Komponenten**. Bestehende Software-Systeme werden etwa im Zuge von Modellpflegen oder der Migration auf neue Bordnetzarchitekturen durch weitere Software-Komponenten ergänzt. Auch hier muss der Hersteller die notwendigen Voraussetzungen für eine Integration kennen und entsprechende Vorkehrungen treffen. Aus der Systemarchitektur sind die verfügbaren Hardware-Services zur Sensierung oder Ansteuerung von Aktuatoren abzuleiten und Software-technisch, z. B. über eine AUTOSAR RTE, bereitzustellen. Falls nicht im Steuergerät direkt lokalisiert, müssen Hardware-Services anderer Steuergeräte über das Netzwerk geroutet werden. Dieser transparente Zugriff auf den Fahrzeugzustand und ggfs. auch die Ansteuerung ausgewählter Funktionen sind auch für die Entwicklung von reinen Software-Applikationen erforderlich, die etwa in einem Open Source Entwicklungsmodell erstellt werden. Andere Quellen von Software-Komponenten werden ebenfalls unterstützt, um beispielsweise schnell neue Technologien ins Fahrzeug zu integrieren und so die Entwicklungszyklen der Fahrzeug-Software an die üblichen Zyklen der Software-Entwicklung anzupassen.

Entwicklungswerkzeuge

Die hohe Flexibilität in der Bereitstellung von Software-Komponenten wird durch **Tests** während der Entwicklung und im Feld abgesichert. Sicherheitsrelevante Funktionen werden durch überlagerte Tests einzelner Komponenten geprüft, die die jeweils für die

einzelne Komponente geforderten Sicherheitsziele nachweisen. Der Hersteller sichert für nachladbare Software-Komponenten ab, dass erstens die geforderte Funktion erbracht wird und zweitens keine bestehenden Funktionen korrumpiert werden – eine angesichts der hohen Varianz von Fahrzeugen im Feld nicht triviale Aufgabe. Die Absicherung von Funktionen wird durch eine weitergehende Abstraktion unterstützt: die Ausgaben der als korrekt nachgewiesenen Funktionen liefern ein qualitätsgesichertes Weltbild inklusive der Fahrzeugdaten, auf das ohne weitere Absicherung individueller Funktionen zuverlässig Bezug genommen werden kann. Zudem ist eine klare Strategie für die Absicherung sicherheitsrelevanter Funktionen vorhanden, die die Wechselwirkungen zwischen Safety und Security berücksichtigt.

Fehlertoleranztechniken werden den flexiblen Einsatz von Software-Komponenten weiter erleichtern. Die Virtualisierung von Laufzeitumgebungen und die damit vorgenommene Kapselung von Software-Komponenten entkoppelt und reduziert die Wirkung fehlerhafter Software-Komponenten. Die explizite Handhabung von Timing und Fehlern durch das Betriebssystem ermöglicht ein fahrzeugweites Fehlermanagement, so dass bereits in der Entwicklung Abhängigkeiten zwischen Funktionen und deren potentiellen Fehlern ermittelt und entsprechende Degradations- oder Reparaturstrategien definiert werden können. Im Fehlerfall zur Laufzeit steuern diese Strategien dann das Verhalten des Gesamtsystems, ohne wesentlichen Overhead zu produzieren. Die Software-Komponenten kennen dabei stets den eigenen Fehlerzustand und können unter Bezugnahme auf eine allgemein verfügbare Abstraktionsschicht die Reaktionen im Fehlerfall ableiten und gegebenenfalls auch die volle Funktion wieder herstellen.

Die **Werkzeugumgebung**, in der die Funktionen und Software-Komponenten entwickelt, abgesichert und integriert werden, besitzt spezifische Funktionen, mit denen die Eigenschaften des Systems trotz aller Komplexität kontrolliert werden können. Zwei Dimensionen sind hier von herausragender Bedeutung: Erstens wird über eine umfassende Darstellung der Implementierungsrelation abgesichert und nachgewiesen, dass und wie alle Anforderungen umgesetzt werden. Zweitens werden die im System vorhandenen funktionalen Wirkketten visualisiert, um im allgemeinsten Fall Änderungen beliebiger Art bewerten zu können.

6.4.2 TECHNOLOGIEN

Die flexible Entwicklung komplexer Systeme kann mit heutigen Technologien in Ansätzen umgesetzt werden. Die wirkliche Beherrschung der Komplexität erfordert jedoch eine deutlich erweiterte Leistungsfähigkeit der Entwicklungswerkzeuge. Für die einzelnen Entwicklungsaufgaben stellen sich Herausforderungen in unterschiedlichem Maße.



Anforderungsentwicklung

Die bestehenden textuellen Verfahren zur Anforderungsbeschreibung sind mittlerweile ausgereift. Für die Beherrschung der Wechselwirkungen der Anforderungen in komplexen Systemen müssen folgende Technologien entwickelt werden, die über die Beschreibung rein funktionaler Anforderungen hinausgehen:

- Modellierung von Anforderungen an System- und Komponentenschnittstellen mit expliziter Behandlung von etwa Ausfallverhalten, Sicherheitszielen oder essentiellen Abhängigkeiten zwischen Komponenten.

System-Design und Funktions-Entwicklung (vor und nach SOP)

Die Beschreibung von Systemen und Funktionen ist ein wesentliches Mittel zur erfolgreichen Planung und Durchführung einer verteilten Entwicklung sowie einer gelungenen Integration der von verschiedenen Lieferanten gestellten Systemkomponenten. Die Technologien für den System- und Funktionsentwurf werden sich in folgenden Bereichen entwickeln, um den Systemüberblick trotz Komplexität herzustellen:

- Frühzeitige Allokation von Funktionen auf Steuergeräte und einzelne Cores bereits im Rahmen der Systemarchitektur.
- Umfassende Darstellung aller Varianten einer Baureihe, um ein „Weltfahrzeug“ als Gegenstand der Entwicklung zu beherrschen.
- Mixed Criticality Design mit expliziter Kennzeichnung von Sicherheitsanforderungen in einem Entwurf, um unterschiedliche Verfahren zur Absicherung im Systementwurf selbst und in der Entwicklung abzuleiten.
- Beschreibung und Bewertung dynamischer Architekturen mit dem Ziel, ein System nach der Auslieferung durch Hardware und /oder Software zu erweitern.
 - Variantenmanagement zur Entwicklungs- und Betriebszeit, mit dem Systeminstanzen während der Entwicklung virtuell integriert und abgesichert werden können, das zur Betriebszeit zudem die Evolution des Systems – etwa über ein Funktions- oder Komponentenregister im Fahrzeug oder off-line – protokolliert und absichert, dass keine ungültigen Instanzen (beschrieben z. B. durch konfigurierbare Black- und Whitelists von Systemelementen) in Betrieb gehen.
 - Bedrohungsanalysen auf dem Systemmodell zur Untersuchung möglicher Angriffe gegen das System und zur Absicherung des Systems bzw. Fahrzeugs in der Interaktion mit anderen Systemen.



- Absicherung der Gültigkeit von Systeminstanzen zur Betriebszeit des Systems auf Basis des Funktions- oder Komponentenregisters sowie Prüfung der erforderlichen Qualitätsanforderungen an Systemaktualisierungen und -erweiterungen, wie etwa der Austausch eines Sensors, bevor eine neue Systeminstanz im Fahrzeug freigeschaltet wird.

Software-Architekturbeschreibung

Abgeleitet aus der angereicherten Beschreibung von Systemkomponenten wird die Software-Architektur eines verteilten eingebetteten Systems deutlich über die klassischen Architektur Aspekte wie Verteilung oder Aufrufbeziehungen hinausgehen. Insbesondere die Integration von Software-Komponenten aus unterschiedlichen Quellen wird durch folgende Technologien unterstützt:

- Schnittstellen von Software-Komponenten werden über die reine syntaktische Signatur um semantische Informationen angereichert sein und so die Integration von Software-Komponenten unterstützen.
- Die Variantenbildung auf Systemebene wird durch den Aufbau von Software-Produktlinien komple-

mentiert. Diese sind so eng an den Funktionsentwurf gekoppelt, dass im Round-Trip-Engineering Änderungen von Funktionsanforderungen ohne weiteres durch die Software-Komponenten umgesetzt werden können.

- Die semantische Erweiterung der Software-Architekturbeschreibung wird auch im Hinblick auf eine vereinfachte Lokalisierung von Software-Komponenten auf Massive-Core-Hardware-Architekturen eingesetzt werden. In der Architektur sind weitergehende Randbedingungen so zu formulieren, dass die Lokalisierung auch automatisch erfolgen kann.
- Architekturen und Produktlinien werden unabhängig von der Technologie zur Realisierung der Software-Komponenten realisiert werden, um unterschiedliche Realisierungsplattformen und deren Migration zu unterstützen und so Software-Architekturen über die gesamte Produktions- und Lebensdauer von Fahrzeugsystemen lebendig zu erhalten.

Um den Austausch von Software-Komponenten zwischen Zulieferern und Herstellern weiter zu optimieren, werden sich die Standards zur Spezifikation von Software-Komponenten weiterentwickeln. Insbesondere die Formate zur Beschreibung semantischer Aspekte einer Software-Komponente werden weiter formalisiert werden, um Komponenten in semantisch angereicherte Architekturen zu integrieren.

Integration unbekannter Software-Komponenten

Die Integration unbekannter Software-Komponenten darf die Sicherheit des Fahrzeugs nicht gefährden. Daher müssen abgesicherte Umgebungen geschaffen werden, in denen „unbekannte“ Software-Komponenten zur Ausführung gelangen können. Im Einzelnen sind folgende Technologien zu erwarten:

- Eine robuste Ablaufumgebung für Software-Komponenten (analog einer Java Sandbox) abstrahiert zunächst von der Hardware und schützt vitale Software-Komponenten eines Steuergeräts vor unberechtigten Zugriffen, sodass die maximalen Effekte und damit die Kritikalität einer unbekannt Software-Komponente begrenzt sind.
- Für die zuverlässige Ausführung einer Software-Komponente kennt diese im einfachsten Fall bereits ihren zu erwartenden Ressourcenverbrauch (Prozessor, Speicher, Netzwerk) und gleicht diesen mit den durch die Ausführungsumgebung bereitgestellten Ressourcen ab.
- In fortgeschrittenen Szenarien kennt eine Software-Komponente die eigene Semantik (im Sinne einer

Self-Aware-Component) und kann über Techniken wie dem Open Services Gateway der OSGi mit unbekannten (Sub-) Systemen und Diensten interagieren.

- Der bidirektionale Zugriff auf sensible Fahrzeug- oder Personendaten wird über Mechanismen für Datenschutz geregelt.

Die erfolgreiche Integration unbekannter Software-Komponenten wird durch eine Standardisierung verschiedener Bereiche gestärkt:

- Mehrwert-Dienste, die von Dritten als Software-Komponenten realisiert und bereitgestellt werden, können durch eine über verschiedene Hersteller standardisierte Schnittstelle auf den Fahrzeugzustand zugreifen und so eine reichhaltige Funktionalität bieten.
- Die Interaktion von Fahrzeugfunktionen mit off-board Systemen wird für verschiedene Szenarien standardisiert. Im einfachsten Fall wird der Zugriff auf off-board bereitgestellte Daten durch Fahrzeugseitige Anwendungen vereinheitlicht. So können verschiedene Fahrzeuge auf off-board Daten in einer einheitlichen Form zugreifen. Für den umgekehrten Zugriff, d.h. den auf Fahrzeug-eigene Daten, sind Maßnahmen zum Zugriffsschutz essentiell. Ein drittes Szenario der Standardisierung vereinheitlicht den Download von Software-Komponenten auf ein Fahrzeug nach Auslieferung.
- Die Standardisierung einer semantisch angereicherten Beschreibung nachladbarer Software-Komponenten wird ebenfalls deutlich zur Flexibilisierung der Distribution von Software beitragen.

Test und Absicherung während Entwicklung / im Feld

Die hohe Komplexität, Variabilität und Dynamik der in Fahrzeugen installierten Software-Komponenten stellen hohe Anforderungen an die Absicherung von Funktionalität während der Entwicklung und im Feld. Automatisierte Test- und Analyseverfahren mit der entsprechenden Werkzeugunterstützung werden die Qualität der statisch und dynamisch installierten Software-Komponenten untersuchen.

- Verfahren zur Strukturierung von Tests greifen die Varianz der Systeme auf und bieten Mechanismen zur effizienten aber dennoch effektiven Ausführung auf Basis von Stichproben.
- Tests dynamischer, rekonfigurierbarer Systeme erweitern die Verfahren zum Variantentest und prüfen Systeme, die dynamisch konfigurierbar sind, bereits zur Entwicklungszeit. Spezielle Verfahren validieren das Zeitverhalten dynamisch rekonfigurierter Systeme.
- Für die Durchführung von Tests werden reale funktionspezifische Daten für den Funktionstest in Form von Videosignalen, http-Streams oder höherwertigen Protokollen bereitgestellt. Durch die geeignete Auswahl von „Umgebungsdaten“ wird abgesichert, dass eine Software-Komponente in beliebigen Umgebungen korrekt ausgeführt wird.
- Die Tests zur Entwicklungszeit werden um Testverfahren erweitert, die nach der Produktion eines Fahrzeugs angewendet werden, um die Integration dynamisch nachgeladener Software-Komponenten vor einer Freischaltung für das spezifische Fahrzeug

*Werkzeugunterstützung
für automatisierte Test-
und Analyseverfahren*



abzusichern. Ziel dieser Validation zur Laufzeit ist dabei u.a. der Nachweis der Sicherheit eines Gesamtfahrzeugs nach Erweiterungen.

- Weitergehende Analyseverfahren erlauben den statischen und vollständigen Nachweis, dass etwa die Sicherheits-, Security- oder Verfügbarkeitsanforderungen an eine Fahrzeugfunktion für das spezifische Fahrzeug erfüllt sind.
- Die Analyse- und Testverfahren sind so in die Entwicklungsumgebung integriert, dass Absicherung und Zertifizierung integraler Bestandteil der Entwicklung werden. Unter anderem können etwa Tests auf Modellebene auf dem Target wiederverwendet werden.

Basierend auf der Standardisierung von Beschreibungsmitteln für Software-Komponenten können spezifische Anforderungen an Software-Komponenten durch unabhängige Institute nachgewiesen werden und so den Nachweisaufwand zur Entwicklungszeit verringern und die nachträgliche Integration in ein Fahrzeug absichern.

Allgemeine Rahmenvertragsentwürfe stellen den rechtlichen Rahmen für die Implementierung kritischer Services und regeln die Verantwortung für die korrekte Funktion einer Software-Komponente einerseits und die Verantwortung für die im Rahmen der Funktion erlaubte Integration in ein Fahrzeug andererseits.

Werkzeugintegration

Die sich weiter verstärkende verteilte Entwicklung von Fahrzeugfunktionen über eine Vielzahl von Zulieferern aus unterschiedlichen Domänen stellt hohe Herausforderungen an die Integration der Entwicklungsartefakte. Nur mit einer integrierten Darstellung aller Artefakte in einer Systementwicklung können heterogene und dynamisch konfigurierbare Systeme zuverlässig entwickelt und abgesichert werden, ohne auf spezifische Werkzeughersteller angewiesen zu sein. Für die Werkzeugintegration sind folgende Technologien zielführend:

- Die stetige Sichtbarkeit des Entwicklungsstands eines Systems (d.h. die Entwicklung ist „always in sync“) ist eine wesentliche Voraussetzung für die zeitnahe Bewertung einer Entwicklung und ermöglicht die automatische Herstellung von Konsistenz beziehungsweise leitet umgehende Korrekturen an.
- Die Wiederverwendung und Weiterentwicklung von Entwicklungsergebnissen wird durch Basisfunktionen wie den Vergleich und das Integrieren von

Artefakten wesentlich unterstützt.

- Offene Schnittstellen von Werkzeugen und Datenformate für Artefakte sind die Voraussetzung für modulare und, falls erforderlich, anwendungsspezifische Werkzeugketten. So können auch neue Entwicklungs- und Analysefunktionen einfach in eine bestehende Entwicklungsumgebung integriert und die Mächtigkeit der Umgebung stetig verbessert werden. Spezifische Werkzeugunterstützung wird etwa für die Entwicklung von Security-Funktionen nötig werden. Weiterhin kann die Werkzeugumgebung sich mit dem Stand der Technik weiter entwickeln.
- Visualisierungsverfahren werden in die Werkzeuge verstärkt Einzug halten, um die Komplexität der entwickelten Systeme zu beherrschen. So kann etwa die Zuordnung und Weiterverfolgung von Anforderungen an Funktionen bis hinunter zu einzelnen Testfällen für Software-Komponenten veranschaulicht werden. Außerdem werden Werkzeuge auch die Visualisierung und Simulation von realen Fahr- und Umgebungsszenarien, gerade auch für die Entwicklung von vollautomatisierten Fahrfunktionen, leisten.

In Entwicklungsumgebungen integrierte Werkzeugketten und -netze



Aktuelle und relevante Ansätze für die Standardisierung von Werkzeugketten sind die Open Services for Lifecycle Collaboration (OSLC) und die Reference Technology Platforms (RTP), die unter anderem in Förderprojekten im Rahmen von ARTEMIS entwickelt werden.



Basis-Entwicklungstechniken

Für die Entwicklung von flexiblen und dynamisch konfigurierbaren Software-Systemen werden eine Reihe von grundlegenden Techniken bereitgestellt werden:

- Die Modellierung von System- und Funktionsarchitekturen wird die Beschreibung unterschiedlicher Sichten unterstützen und deren Wechselwirkung erfassen können, sodass Zeitverhalten oder Wirkketten explizit repräsentiert werden. Geeignete Generatoren werden bereits aus der Architektur Software-Fragmente erstellen und eine Round-Trip-Entwicklung vereinfachen.
- Neue Programmierparadigmen und Sprachen werden spezifische Aspekte wie etwa Parallelität, wie sie durch Massive-Core-Hardware-Architekturen bereitgestellt wird, oder die Spezifikation und Behandlung ganzheitliche Architekturen für Energiebedarfsmanagement und -reduktion, integral unterstützen. Diese Paradigmen werden weiterhin die Vorzüge modell-basierter Entwicklung aufgreifen und so in einer neuen Generation von modell-ba-

sierten Entwicklungs- (und Programmier-) Werkzeugen umgesetzt sein.

- In vielen Anwendungsbereichen wird Standardfunktionalität über Bibliotheken oder erweiterte Laufzeitumgebungen bereitgestellt werden. Für vollautomatisiertes Fahren werden Bildverarbeitungsalgorithmen oder die Integration von off-board Services Kommunikationsprotokolle als Basisfunktionalität verfügbar sein.

6.4.3 QUERSCHNITTSTHEMEN

Die generellen Anforderungen an künftige Entwicklungsprozesse und -werkzeuge sind durch drei zentrale Aspekte charakterisiert. Die Anforderungen betreffen alle Phasen einer Systementwicklung und sind für alle relevanten, kommenden Systeme und Funktionen gültig.

- Dynamische Systemarchitektur durch die Rekonfiguration eines Systems nach Auslieferung
- Wiederverwendung von System- und Software-Komponenten während der Entwicklung, aber auch im Betrieb von Fahrzeugen
- Nachverfolgbarkeit von Anforderungen und Nachweis ihrer Realisierung in variantenreichen und dynamischen Systemen

Ein signifikanter Teil der Anforderungen an künftige Entwicklungsprozesse und -werkzeuge kann durch eine geeignete Standardisierung von Verfahren und Werkzeugen umgesetzt werden. Die so entstehenden einheitlichen Verfahren und Komponentenmodelle reduzieren die Komplexität der Entwicklungs- und Integrationsaufgaben und bereiten den Weg zur besseren Beherrschung der Systeme.

6.4.4 RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN

Die Einführung dynamisch rekonfigurierbarer Systeme setzt eine Weiterentwicklung der bestehenden Rahmenbedingungen voraus. Insbesondere die Nutzung externer Software-Komponenten für die dynamische Erweiterung eines Fahrzeugsystems stellt Herausforderungen an die nachweisliche Absicherung dieser Komponenten. Diese wird auf Basis einer umfassenden Komponentenspezifikation und -prüfung erfolgen und gegebenenfalls durch das Zertifikat einer geeigneten Stelle zugesichert werden. Entsprechende Vertragsrahmenwerke zwischen dem Lieferanten einer externen Komponente, Hersteller und Halter / Nutzer eines Fahrzeugs können den Einsatz der Komponente aus Urheber- und anderen rechtlichen Aspekten flankieren.

7 DER WEG NACH VORNE



Die Automobilindustrie steht vor signifikanten Herausforderungen, die ausführlich in den einleitenden Teilen der Roadmap dargestellt wurden. Eingebettete Systeme stellen zwar nur eine von vielen „enabling technologies“ dar, um die dargelegten zukünftigen Mobilitätskonzepte zu unterstützen. Doch alleine in diesem Bereich sind die dabei zu lösenden Herausforderungen im Bereich der Methoden, Werkzeuge, Prozesse und Technologien so zahlreich und so komplex, dass sie nur durch ein abgestimmtes gemeinsames Vorgehen von Industrie und Forschungseinrichtungen im Rahmen von koordinierten Programmen geleistet werden können. Durch Einbindung der deutschen Forschungskompetenz im Bereich Eingebettete Systeme, welche weltweit eine Spitzenposition einnimmt, in eine durch die Automobilindustrie getriebene Initiative Embed-

ded4Car4.0 kann die führende Marktposition der deutschen Automobilindustrie gewahrt werden. Angesichts der sich verändernden Rechtslage im Bereich hochautomatisiertes Fahren ist jetzt ein Handeln erforderlich. Diese Roadmap stellt eine fundierte Basis bereit, um ein solches koordiniertes Vorgehen zu initiieren. Die insbesondere im vorigen Kapitel dargestellten technologischen Herausforderungen können durch einen industriellen Lenkungsprozess zeitlich priorisiert werden. Gemeinsam mit Fördergebern können geeignete Instrumente auf nationaler und gegebenenfalls auch auf europäischer Ebene identifiziert oder gegebenenfalls neu etabliert werden, um die zur Absicherung der führenden Marktposition der deutschen Automobilindustrie notwendigen Innovation im Bereich eingebetteter Systeme rechtzeitig zu erzielen.

8 ANHÄNGE

8.1 LITERATUR

[BAST2012]

Bundesanstalt für Straßenwesen, Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung, In: Forschung kompakt. 11/2012

[BMBF2014]

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Referat Grundsatzfragen der Innovationspolitik (Hrsg.), Die neue Hightech-Strategie Innovationen für Deutschland, Berlin. 2014

[Braeunig2012]

Bräunig, Vom Wachstum in China profitieren auch die deutschen Standorte, 20 Prozent Marktanteil – Führend bei Premium – „Auto China“ mit vielen Premieren, VDA, 20.4.2012
<https://www.vda.de/de/meldungen/archiv/2012/04/20/2901/> (Zugriffsdatum: 21.10.2014)

[Brok2011]

Brok, Stellungnahme des Ausschusses für auswärtige Angelegenheiten für den Ausschuss für Industrie, Forschung und Energie zu einer wirksamen Rohstoffstrategie für Europa, 2011,
<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=REPORT&reference=A7-2011-0288&language=DE#title4> (Zugriffsdatum: 21.10.2014)

[CityMobil]

EU Projekt City Mobil, Towards advanced road transport for the urban environment, <http://www.citymobil-project.eu/> (Zugriffsdatum: 21.10.2014)

[Cybercars]

EU-Projekt Cybercars 2, <http://www.cybercars.org/>

[Deloitte2014]

Deloitte & Touche GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, Umbruch in der Automobilzulieferindustrie, Standortoptimierung und Sourcing, 2014

[EasyWay]

EU-Projekt Easy Way, <http://www.easyway-its.eu/> (Zugriffsdatum: 21.10.2014)

[EUKomm2011]

EU-Kommission, Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, Grundstoffmärkte und Rohstoffe: Herausforderungen und Lösungsansätze, Brüssel, 2011, Anhang A
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0025:FIN:DE:PDF> (Zugriffsdatum: 21.10.2014)

[Horizon2020]

European Commission, Horizon 2020, The EU Framework Programme for Research and Innovation, <http://www.ec.europa.eu/programmes/horizon2020/> (Zugriffsdatum: 21.04.2014)

[Ind40]

Forschungsunion, acatech (Hrsg.), Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, Frankfurt/Main, 2013

[ifmo2011]

Institut für Mobilitätsforschung, ifmo Studie, Mobilität junger Menschen im Wandel, 2011

[Muir96]

Muir, Bonnie M. und Moray, Neville, Trust in automation. Part II. Experimental studies of trust and human intervention in a process control simulation, Ergonomics, Vol. 39, Issue 3, Seiten 429-460, 1996, doi 10.1080/00140139608964474, <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00140139608964474> (Zugriffsdatum: 21.10.2014)

[ITEA-ARTEMIS-IA2013]

ARTEMIS Industry Association & ITEA Office Association, ITEA ARTEMIS-IA High-Level Vision 2030 Opportunities for Europe – The impact of software innovation on revenue and jobs, 2013

[NRES2009]

SafeTRANS, ZVEI (Hrsg.), Nationale Roadmap Embedded Systems, Frankfurt/Main, 2009

[SimTD]

Projekt Sim-TD, Sichere intelligente Mobilität, Testfeld Deutschland, BMBF-Projekt FKZ, <http://www.simtd.de> (Zugriffsdatum: 21.10.2014)

[UnitedNations2011]

United Nations, World Urbanization Prospects, 2011 Revision, <http://esa.un.org/unpd/wup/index.html> (Zugriffsdatum: 21.10.2014)

[Wissmann2012]

Wissmann, Automobilstandort Deutschland braucht offene Märkte, Vortragsveranstaltung „Die deutsche Automobilindustrie. Herausforderungen für die Zukunft, VDA, 23.11.2012, <https://www.vda.de/de/meldungen/archiv/2012/11/23/3077/> (Zugriffsdatum: 21.10.2014)

[Wissmann2013]

Wissmann, Wettbewerbsvorsprung Deutschlands nicht verspielen, sondern verbessern, VDA, 30.01.2013 <https://www.vda.de/de/meldungen/archiv/2013/01/30/3107/> (Zugriffsdatum: 21.10.2014)

8.2 FuE-PROJEKTE

Die folgende Tabelle zeigt eine Auswahl nationaler und internationaler Forschungs- und Entwicklungsprojekte, die den in dieser Roadmap beschriebenen Szenarien in Kapitel 5 zugeordnet werden können.

Eine kurze Angabe der Inhalte, die auf den verfügbaren Informationen der Projekt-Webseiten basiert, hilft die Projekte einordnen zu können. Die Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Szenarien	Projekt	Quelle / Link	Inhalte
Der Mensch im Mittelpunkt	Ford mobile healthcare apps	http://www.informationweek.com/healthcare/mobile-wireless/ford-driving-health-safety-with-mobile-a/229502419	Gesundheit und Wellness im Auto; Verbindungsservices und -anwendungen für Menschen mit chronischen Erkrankungen wie Diabetes und Allergien (für Fahrer und Beifahrer); Plattform für eine webbasierte persönliche Gesundheitsakte, über die Gesundheitsdienstleister auf Daten zugreifen können; Messung des Stresslevels des Fahrers durch Herzfrequenzmessungen über den Autositz
	Ford Software Developer Kit and Application Programming Interfaces	http://www.informationweek.com/mobility/smart-phones/fords-sync-tools-target-smartphone-integ/227700434	Entwicklern zu ermöglichen, bestehende Smartphone-Anwendungen so zu modifizieren, dass diese ohne den Einsatz der Hände mit Ford SYNC zusammenarbeiten; Apps im Auto durch die sicherere Form der Sprachaktivierung nutzbar machen zu können
	Interaction	http://interaction-fp7.eu/	Erhöhung des Verständnisses der Wechselwirkung zwischen Fahrer und Fahrzeuginnentechnologien; Erreichung des nächsten Schrittes zum unfallfreien Verkehr und Entwicklung fortschrittlicher Fahrerassistenzsysteme für sichereres und effizienteres Fahren
	Isi-PADAS	http://www.isi-padas.eu/	Bereitstellung von innovativen Methoden für den risiko-basierten Entwurf und die Zulassung von teilautonomen Fahrerassistenzsystemen mit Schwerpunkt auf Beseitigung und Verminderung von Fahrfehlern durch einen integrierten Fahrer-Fahrzeug-Umwelt-Modellierungsansatz
	smart senior	http://www1.smart-senior.de/	Längere Selbstständigkeit von Seniorinnen und Senioren; Teilprojekt: Wie können Seniorinnen und Senioren sicher unterwegs sein bzw. ihre Mobilität aufrechterhalten?
Zero Accidents	Drive C2X	http://www.drive-c2x.eu/project	Car2X-Kommunikation durch Wireless LAN
	Ford mobile healthcare apps	siehe oben	
	Ford Software Developer Kit and Application Programming Interfaces	siehe oben	
	Interaction	siehe oben	
	simTD	Sichere Intelligente Mobilität – Testfeld Deutschland	Security und Vernetzung
	HAVEit	http://www.haveit-eu.org/	Highly Automated Vehicles for Intelligent Transport – Ziel: Ein höheres Niveau der Automatisierung, um auf bestehenden öffentlichen Straßen im Mischverkehr eingesetzt werden zu können

Szenarien	Projekt	Quelle / Link	Inhalte
	SAFESPOT	http://www.safespot-eu.org/	Erstellung dynamischer, kooperativer Netzwerke, in denen Fahrzeuge und Straßeninfrastruktur kommunizieren, um Informationen auszutauschen, die on-Board und am Straßenrand gesammelt wurden; Ziel: Die Wahrnehmung des Fahrers bzgl. der Fahrzeugumgebung zu verbessern, um eine Sicherheitsmarge in Zeit oder Raum schaffen
	COOPERS	http://www.coopers-ip.eu/	Cooperative Systems for Intelligent Road Safety – Ziel: Verbesserung der Verkehrssicherheit durch direkte und aktuelle Verkehrsinformationskommunikation zwischen Infrastruktur und motorisierten Fahrzeugen auf einem Autobahnabschnitt. Darüber hinaus sollen kooperative Systeme die Verbesserung der Sicherheit demonstrieren. Im Rahmen des Projekts wurden 12 Dienstleistungen für Autobahn-Anwendungen definiert, die auf drahtloser Kommunikation und fahrzeuginternen Informationen basieren, einschließlich Warnungen, intelligenter Geschwindigkeitsanpassung, Straßenbenutzungsgebühren und dynamischer Routenführung.
	PreVENT	http://www.prevent-ip.org/	Erhöhung der Verkehrssicherheit durch die Entwicklung und Demonstration von präventiven Sicherheitsanwendungen und -technologien; eines der größten Projekte in FP6 bzgl. Verkehrsfragen
	CVIS	http://www.cvisproject.org/	Ziel: Erstellung/Ermöglichung einer offenen Architektur und eines offenen Applikations-Frameworks für die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur
	(Pre)DRIVE C2X	http://www.pre-drive-c2x.eu/	Vorbereitung eines groß angelegten Feldversuchs für Fahrzeugkommunikationstechnik
	DARPA Grand Challenge	http://www.darpa.mil/grand-challenge/index.asp	Wettbewerb zur Entwicklung eines Fahrzeugs, das autonom navigieren und ein bestimmtes Ziel erreichen kann. Der dritte Wettkampf der DARPA Grand Challenge (Preiswettbewerb für fahrerlose Fahrzeuge, gefördert von der Defense Advanced Research Projects Agency, US.) wurde im November 2007 veranstaltet. Es qualifizierten sich zunächst 53 Teams, aber nach einer Reihe von Qualifikationsrunden, erreichten nur elf Teams das finale Rennen. Davon schafften sechs Teams die Navigation durch die nicht-bewohnte Umwelt. Gewinner: Team der Carnegie Mellon University
	Intersafe-2	http://www.intersafe-2.eu/public/	Ziel: Entwicklung und Demonstration eines kooperativen Kreuzungs-Sicherheits-Systems, das in der Lage ist, Verletzungen und tödliche Unfälle an Straßenkreuzungen deutlich zu reduzieren
	SARTRE	http://www.sartre-project.eu/	SARTRE (2009-2012) zielt darauf ab, Strategien und Technologien zu entwickeln, damit Fahrzeugzüge (Kolonnen aus autonom fahrenden Fahrzeugen) auf normalen, öffentlichen Straßen betrieben werden können; Nutzen: erhebliche Umwelt-, Sicherheits- und Komfortvorteile
	S.I.P.Si.Vi	http://vislab.it/Projects/view/29/S.I.P.Si.Vi	Entwicklung eines Wahrnehmungssystem, das in der Lage ist, die Fahrerleistung unter Einfluss von Drogen, Alkohol und Medikamenten in Fahrversuchen aufzunehmen
	Google driverless car	http://googleblog.blogspot.com/2010/10/what-were-driving-at.html	Testflotte von autonomen Fahrzeugen, die bis Oktober 2010 140.000 Meilen (230.000 km) gefahren sind ohne Zwischenfälle

Szenarien	Projekt	Quelle / Link	Inhalte
	GCDC	http://www.gcdc.net/	Grand Cooperative Driving Challenge – Ziel: Beschleunigung der Entwicklung und Umsetzung von kooperativen Fahrtechnologien mit Hilfe eines Wettbewerbs zwischen internationalen Teams
	SPITS	https://spits-project.com/	Strategic Platform for Intelligent Traffic Systems – Ziel: Eine offene intelligente Verkehrssystem-Plattform zu entwickeln, um Mobilität und Sicherheit zu verbessern
	EuroFOT	http://www.eurofot-ip.eu/	Folge von Feldtests mit dem Ziel, der Beurteilung von wichtigen Fahrerassistenzsystemen (FAS), die kürzlich auf dem europäischen Markt erschienen sind
	Aktiv	http://www.aktiv-online.org/	Adaptive und Kooperative Technologien für den intelligenten Verkehr – An dieser deutschen Forschungsinitiative sind 29 Partner beteiligt – Automobilhersteller und -zulieferer, Elektronik-, Telekommunikations- und Softwarefirmen sowie Forschungsinstitute. Mit dem Ziel, den Verkehr der Zukunft sicherer und flüssiger zu machen, entwickeln die Partner in vierjähriger Forschungsarbeit bis Mitte 2010 gemeinsam neue Fahrerassistenzsysteme, Informationstechnologien sowie Lösungen für ein effizientes Verkehrsmanagement und für die Fahrzeug-Fahrzeug- bzw. Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation. Die Initiative Aktiv besteht aus 3 Projekten: Verkehrsmanagement, Aktive Sicherheit und Cooperative Car
	INVENT	http://www.invent-online.de/en/projects.html	intelligent traffic and user-friendly technology – entwickelt und untersucht Lösungen, die den Verkehr sicherer und effizienter machen
	ASV-3	http://www.tokymotorshow.com/show/2005/english/public/news/data/tmsn_vol13_E.pdf	Die dritte Phase des Advanced Safety Vehicle Projekts konzentriert sich auf Technologien, die auf die Verbesserungen der Sicherheit durch die Koordinierung der Fahrzeugbewegungen mit der Umwelt zielen
	Smartway	http://www.mlit.go.jp/road/ITS/conf/2007/SS17.pdf	Entwicklung eines Verkehrssystems, das den Austausch verschiedener Typen von Informationen zwischen Fahrzeugen, Fahrern, Fußgängern und anderen Benutzern ermöglicht
	Isi-PADAS	siehe oben	
	AMULETT	http://www.projekt-amulett.de/index.php?article_id=65	Aktive mobile Unfallvermeidung und Unfallfolgenminderung durch kooperative Erfassungs- und Trackingtechnologie
	Forschungsinitiative Ko-FAS	http://ko-fas.de/deutsch/startseite.html	Kooperative Sensorik und kooperative Perzeption für die präventive Sicherheit im Straßenverkehr – Entwicklung neuartige Technologien, Komponenten und Systeme, die den Verkehrsteilnehmern mittels kooperativer Sensorik und Perzeption ein umfassendes Bild der Verkehrsumgebung bereitstellen
	smart senior	siehe oben	
	Stadtpilot	http://stadtpilot.tu-bs.de/stadtpilot/project	Projekt an der TU Braunschweig mit dem Ziel, ein computergesteuertes Automobil auf dem Stadtring von Braunschweig, einer zweispurigen stark frequentierten Ringstraße autonom im öffentlichen Verkehr fahren zu lassen

Szenarien	Projekt	Quelle / Link	Inhalte
	WATCH-OVER	http://www.watchover-eu.org/	Ziel: Entwurf und Entwicklung eines kooperativen Systems zur Verhinderung von Unfällen mit ungeschützten Verkehrsteilnehmern in städtischen und außerstädtischen Gebieten. Es wird eine On-Board-Plattform und ein empfindliches Benutzermodul eingesetzt. Das System basiert auf Nahbereichskommunikation und Visionssensoren. (Ende Dezember 2008)
Umweltverträgliche und effiziente Mobilität	CityMobil	http://www.citymobil-project.eu	Ziel: Effektivere Organisation des Stadtverkehrs. Dies wird zu einer rationelleren Nutzung des motorisierten Verkehrs führen, mit diesen Folgen: <ul style="list-style-type: none"> - weniger Staus und Umweltverschmutzung; - sicheres Fahren; - höhere Lebensqualität; - verbesserte Integration im Raum. (Vorgängerprojekt: NET-MOBIL, 2003-2005)
	KONVOI	http://www.psych.rwth-aachen.de/ifp-zentral/front_content.php?idcat=231	Entwicklung und Untersuchung des Einsatzes von Lkw-Konvois auf der Straße. Dabei sollen mit Hilfe von realen und virtuellen Fahrversuchen - unter Einsatz von Versuchsträgern und eines LKW-Fahrsimulators - die Auswirkungen und Effekte auf den Verkehr analysiert werden.
	CyberCars	http://connectedcities.eu/showcases/cybercar.html	Cybercars sind kleine autonome Elektrofahrzeuge. Diese Fahrzeuge können völlig autonom fahren und sind speziell für die öffentliche Nutzung in Städten für On-Demand- und Tür-zu-Tür-Dienstleistungen entwickelt.
	CyberMoves	http://connectedcities.eu/showcases/cybercar.html	Demonstration, dass Cybercars genug Potenzial haben, einen wesentlichen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung der Städte von morgen zu leisten
	EASYWAY	http://www.easyway-its.eu	Das Projekt EASYWAY ist der Nachfolger des TEMPO-Programms der Europäischen Union im Bereich Verkehrstelematik (Traveller Information Services, Traffic Management Services, Freight and Logistic Services, Connected ICT Infrastructure)
	Drive C 2 X	siehe oben	
	MeRegioMobil	http://meregionobil.forschung.kit.edu/index.php	Die Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte der sieben Modellprojekte sind: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Netzintegration (gesteuertes Laden und Rückspeisung) ▪ Navigation und Fahrassistenz ▪ Tarife und Abrechnung ▪ Fahrzeugflotten und Mobilitätsservices
	econnect Germany	http://econnect-germany.de	Ziel von "econnect Germany" ist es, gemeinsam mit Forschungs- und Entwicklungspartnern Elektromobilität deutschlandweit zukunftsfähig zu gestalten. Dazu werden nachhaltige und intelligente elektromobile Verkehrsanwendungen (Smart Traffic) und die Integration der Elektromobilität in das intelligente Stromnetz der Zukunft (Smart Grid) mittels Informations- und Kommunikationstechnologie erforscht, entwickelt und erprobt. Besondere Berücksichtigung findet dabei die Infrastruktur von Stadtwerken. Das Projekt ist in 7 sogenannte Hubs gegliedert in denen unterschiedliche Aspekte untersucht werden, beispielsweise Benutzerakzeptanz von gesteuertem Laden und Rückspeisen, dynamische Tarife, Tourismus und Elektromobilität.

Szenarien	Projekt	Quelle / Link	Inhalte
After-Sales und Wartung			
Kosteneffiziente Entwicklung und Fertigung	CESAR	http://cesarproject.eu/	CESAR (Cost-Efficient Methods and Processes for Safety Relevant Embedded Systems) ist ein großes europäisches Verbundprojekt mit dem Ziel, die Sicherheit im Verkehr durch moderne Entwicklungsmethoden für eingebettete Systeme zu erhöhen.
	CRYSTAL	http://www.crystal-artemis.eu/	Aufbauend auf existierenden Referenztechnologieplattformen (RTP) aus verwandten ARTEMIS-Projekten (u.a. CESAR und MBAT) wird CRYSTAL einen vollständigen Entwurfsrahmen bestehend aus Werkzeugen, Methoden und Prozessen bereitstellen und hierbei insbesondere die Interoperabilität der einzelnen Bausteine und die Konformität mit einschlägigen Standards in den Vordergrund stellen.
	D3CoS	http://www.d3cos.eu/	Methoden, Techniken und Werkzeuge, um die industrielle Entwicklung von dynamischen, verteilten und kooperativen Mensch-Maschine-Systemen zu unterstützen
	DANSE	http://danse-ip.eu/	Methoden und Analysetechniken für den Entwurf und den operativen Betrieb von SoS basierend auf einem evolutionären, adaptiven und iterativen Ansatz
	MBAT	http://mbat-artemis.eu/	Bereitstellung einer neuen Technologie für eine effektive und zugleich Kosten-reduzierende Prüfung von eingebetteten Systemen in der Transportdomäne (Automotive, Aerospace, Rail)
	SAFE	http://www.safe-project.eu/	Methoden zur Unterstützung der ISO 26262 in einem modellbasierten Entwurfsprozess; aufbauend auf Ergebnissen anderer Projekte (ATESST2, CESAR, TIMMO) werden sicherheitsbezogene Entwurfsaktivitäten durch geeignete Modellierungs- und Analysemethoden unterstützt
	SafeCer	http://www.safecer.eu/	
	iFEST	http://www.artemis-ifest.eu/	Spezifizierung und Entwicklung eines Tool-Integration-Rahmens für Hardware-/Software-Co-Design von heterogenen und Multi-Core Embedded-Systeme
	SPES XT	http://spes2020.informatik.tu-muenchen.de/spes_xt-home.html	Nahtlose, methodische und werkzeugtechnische Integration von Modellierungs- und Analysetechniken für eingebettete Systeme
	ARAMiS	http://www.projekt-aramis.de/	Architekturen, Methoden und Tools für den Einsatz von Multicore-Systemen und Virtualisierung in sicherheitskritischen und gemischt sicherheitskritischen Systemen der Domänen Automotive und Avionik

9 AUTOREN UND BETEILIGTE

Mitglieder des Steuerkreises

Dr. Christian Allmann	Audi Electronics Venture GmbH
Prof. Dr. Manfred Broy	Technische Universität München
Dr. Mirko Conrad	samoconsult GmbH
Prof. Dr. Werner Damm	SafeTRANS
Dr. Heiko Dörr	Model Engineering Solutions GmbH
Dr. Hieronymus Fischer	ESG Elektroniksystem- und Logistik GmbH
Thomas Gallner	Continental Automotive GmbH
Dr. Holger Grandy	BMW Group
Dr. Klaus Grimm	Daimler AG (ehemals)
Dr. Arne Hamann	Robert Bosch GmbH
Prof. Dr. Bernd Hohlfeld	ICS AG (ehemals)
Prof. Dr. Stefan Jähnichen	Technische Universität Berlin
Ralf Kalmar	Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE
Prof. Dr. Stefan Kowalewski	RWTH Aachen
Dr. Thomas Kropf	Robert Bosch GmbH
Peter Manhart	Daimler AG
Florian Netter	Audi Electronics Venture GmbH
Dr. Alexandre Saad	BMW Group
Prof. Dr. Ina Schaefer	Technische Universität Braunschweig
Prof. Dr. Jörn Schneider	Hochschule Trier
Gerhard Wirrer	Continental Automotive GmbH (ehemals)

Experten

Manu Rajeev Bhargava	Robert Bosch GmbH
Dr. Martin Düsterhöft	Ricardo Deutschland GmbH (ehemals)
Marco Förster	RWTH Embedded Software Laboratory
Thomas Gallner	Continental Automotive GmbH
Christoph Gillen	Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen
Annette Kempf	Schaeffler Technologies GmbH & Co. KG (ehemals)
Prof. Dr. Reiner Kriesten	Hochschule Karlsruhe
Prof. Dr. Jürgen Mottok	FH Regensburg
Jürgen Niehaus	SafeTRANS
Dr. Philipp Orth	FEV GmbH
Christian Patzlaff	ESG Elektroniksystem- und Logistik GmbH
Dr. Harald Rueß	fortiss
Tillmann Schumm	BMW Car IT GmbH
Prof. Dr. Volker Skwarek	HAW Hamburg
Prof. Dr. Michael Uelschen	Hochschule Osnabrück
Dr. Dirk Ziegenbein	Robert Bosch GmbH

Weitere Mitwirkende

Katja Bonhagen	SafeTRANS
Franziska Griebel	SafeTRANS
Prof. Dr. Peter Liggesmeyer	Fraunhofer-Institut für experimentelles Software Engineering IESE

