

Abschlussbericht

**Experteninterview zur
Anforderungsanalyse heutiger und
zukünftiger E/E Architekturen im
Kraftfahrzeug**

Lisa Braun

Prof. Dr. rer. nat Frank Gauterin

Prof. Dr.-Ing. Eric Sax

27. April 2016

Lisa Braun
Institut für Technik der Informationsverarbeitung
Lisa.Braun@partner.kit.edu

Prof. Dr. rer. nat Frank Gauterin
Institut für Fahrzeugsystemtechnik - Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik
Frank.Gauterin@kit.edu

Prof. Dr.-Ing. Eric Sax
Institut für Technik der Informationsverarbeitung
Eric.Sax@kit.edu

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VII
1 Forschungsleitfrage	1
2 Methodik	3
2.1 Planung und Vorbereitung	3
2.2 Homogenisierung der Fachsprache	4
2.3 Durchführung	7
2.4 Gestaltung des Leitfadens	9
2.5 Auswertung	10
3 Ergebnisse	13
3.1 Stand der Technik automobiles Bordnetz	13
3.1.1 Aufbau Energieversorgung	14
3.1.2 Aufbau Kommunikationsnetz	15
3.1.3 Entwicklungsprozess	17
3.1.4 Unterschiede der E/E-Architektur von konventionellen und Elektro- fahrzeugen	22
3.2 Revolution versus Evolution	23
3.3 Anforderungen und Trends	25
3.3.1 Allgemeine Anforderungen und Trends	26
3.3.2 Anforderungen und Trends des Kommunikationsnetzes	28
3.3.3 Anforderungen und Trends des Energieversorgungsnetzes	30
3.3.4 Andere Branchen als Blaupause für die Automobilindustrie	31

3.4	Veränderung des Kommunikationsnetzes	33
3.4.1	Zukunftsfähigkeit der Domänenstruktur	34
3.4.2	Ausprägung einer neuen IKT-Architektur	36
3.5	Veränderung des Energieversorgungsnetzes	39
3.5.1	Veränderung der Spannungslagen	40
3.5.2	Veränderung der Speichertechnik	45
3.5.3	Veränderung der Sicherungstechnik	48
3.5.4	Ausprägung einer neuen Energieversorgungstopologie	50
3.6	Vision	51
4	Zusammenfassung	57
A	Leitfaden Experteninterview	61
B	Auswertung der bewerteten Optimierungskriterien	63
C	Anforderungstabellen	67
C.1	Allgemeine Anforderungen, Herausforderungen und Hürden	68
C.2	Anforderungen, Herausforderungen und Hürden Kommunikationsnetz . . .	71
C.3	Anforderungen, Herausforderungen und Hürden Energieversorgung	75
	Literaturverzeichnis	77

Abkürzungsverzeichnis

ADAS	Advanced Driver Assistance Systems
App	Applikation (Software-Funktion)
BMS	Batteriemanagementsystem
CE	Consumer Electric
E/E	Elektrik und Elektronik
EFZ	Elektrofahrzeug
FuSi	funktionale Sicherheit
HV	Hochvolt
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
IT	Informationstechnik
KFZ	Kraftfahrzeug
KsK	Kundenspezifischer Kabelbaum
OEM	Original Equipment Manufacturer
OES	Original Equipment Supplier
PLC	Powerline Kommunikation
PoE	Power over Ethernet

Abbildungsverzeichnis

1.1	Zunahme an E/E-Komponenten und Funktionen zwischen 2003 und 2013 bei den Modellen VW Golf und AUDI A4	1
2.1	Gegenseitige Abgrenzung der in diesem Bericht verwendeten definierten Begriffe	7
3.1	Einfache schematische Darstellung des Energieversorgungsnetzes eines Verbrennungsfahrzeugs	14
3.2	Ein Bordnetz der ersten Generation im VW Käfer (1967) im Vergleich mit einem BMW 7er (2008)	15
3.3	Links Kommunikationsnetz des BMW 7 F01 und rechts Verteilung Elektronik und Kabelbaum in einem Oberklassefahrzeug	16
3.4	Diagramm zur Unterteilung einzelner Entwicklungsschritte der Spezifikation links und des Tests rechts auf verschiedene Systemebenen	17
3.5	Kabelsatz des Audi A8 (2011) auf einer Schautafel mit einem Gewicht von ca. 50 kg	18
3.6	Evolutionäre Erweiterung einer bestehende Bus-Architektur zur Integration neuer Funktionen	21
3.7	Anforderungspyramide verschiedener Trends und ihrer Zusammenhänge . .	25
3.8	Vergleich der notwendigen und tatsächlichen Komplexität der E/E Architektur zur Abbildung ihrer Funktionen	34
3.9	Zur Abbildung der gewünschten Leistung benötigter Strom bei verschiedenen Betriebsspannungen und die Definition der statischen Spannungsbereiche des neuen 48V-Systems	42
3.10	Mögliche Gestaltung der Aufgabenverteilung zwischen 12V und 48V abhängig vom Anschluss der Komponenten	44

3.11 Darstellung ausgewählter Merkmale des aktuellen Stands der Technik, zugehöriger Problemfelder und Visionen als mögliche Lösungen dieser Probleme der E/E-Architektur	53
---	----

Tabellenverzeichnis

2.1	Glossar der verwendeten Begriffe	6
2.2	Übersicht über die Anzahl und Art der geführten Interviews	8
2.3	Übersicht über Erfahrungen und Kompetenzfelder der befragten Experten abhängig von den drei vorgestellten Kategorien	9
2.4	Ausschnitt einer Ergebnismatrix zur Sammlung der heutigen Anforderungen an E/E-Architekturen	11
3.1	Zusammenfassung verschiedener Expertenaussagen zu Nachteilen der evolutionären Weiterentwicklung heutiger E/E-Architekturen	20
3.2	Vergleich zwischen verschiedenen Aussagen zum Verständnis von Evolution und revolutionärem Technologiebruch	24
3.3	Vergleich der verschiedenen Eigenschaften einer evolutionären Weiterentwicklung und eines revolutionären Technologiebruchs	24
3.4	Anzahl der zur Erstellung des Anforderungskatalogs bewerteten Expertenantworten	26
3.5	Vorstellung möglicher Vorteile für die Automobilindustrie durch Übernahme von Technik oder Paradigmen aus der CE	32
3.6	Antworten zur Frage, ob zukünftig eine neue IKT Architektur erforderlich ist.	33
3.7	Antworten zur Frage, ob die bestehende Domänen-Einteilung des Kommunikationsnetzes in Zukunft weiter sinnvoll ist.	35
3.8	Antworten zur Frage, ob die Veränderung der IKT Architektur Auswirkungen auf das Energieversorgungsnetz haben wird.	40
3.9	Antworten zur Frage, ob 12V zukünftig weiterhin die allgemeine Spannungslage im Fahrzeug sein wird.	41
3.10	Antworten zur Frage, ob zukünftig weiterhin ein zentraler Speicher zur Absicherung der Funktionen im Fahrzeug eingesetzt wird.	45

3.11	Antworten zur Frage, ob zukünftig weiterhin ein zentrales Sicherungskonzept im Fahrzeug eingesetzt wird.	49
3.12	Vergleich zwischen der bisherigen Ausprägung der IKT Architektur im Fahrzeug und zukünftigen Lösungen um Herausforderungen zu meistern	55
B.1	Liste möglicher Optimierungskriterien, sortiert Anhand der Priorisierung der Experten von Forschung (F), Kunde (K), Anbieter (A)	65
C.1	Anzahl der zur Erstellung des Anforderungskatalogs bewerteten Expertenantworten	67
C.2	Allgemeine Anforderungen, Herausforderungen und Hürden des Bordnetzes	70
C.3	Anforderungen, Herausforderungen und Hürden des Kommunikationsnetzes im Fahrzeug	74
C.4	Anforderungen, Herausforderungen und Hürden der Energieversorgung im Fahrzeug	76

1 Forschungsleitfrage

Die Elektrik, Elektronik (E/E) sowie Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) in Fahrzeugen wächst rasant, vergleiche Abbildung 1.1. Weiterhin wächst die Vernetzung zwischen Komponenten und Funktionen und damit die Zahl der Schnittstellen. Neue Infotainment- und Fahrerassistenzfunktionen zur Steigerung der Sicherheit und des Komforts der Insassen sind nur durch das Zusammenspiel mehrerer Steuergeräte, Aktoren und Sensoren realisierbar [1]. Außerdem muss der Entwicklungsprozess die sehr hohen Anforderungen durch die lange Lebensdauer von mindestens 150.000 km, sowie 15 Jahren Laufzeit unter schwierigen Bedingungen bezüglich Umgebungstemperatur, Feuchtigkeit, Vibration und EMV berücksichtigen [2].

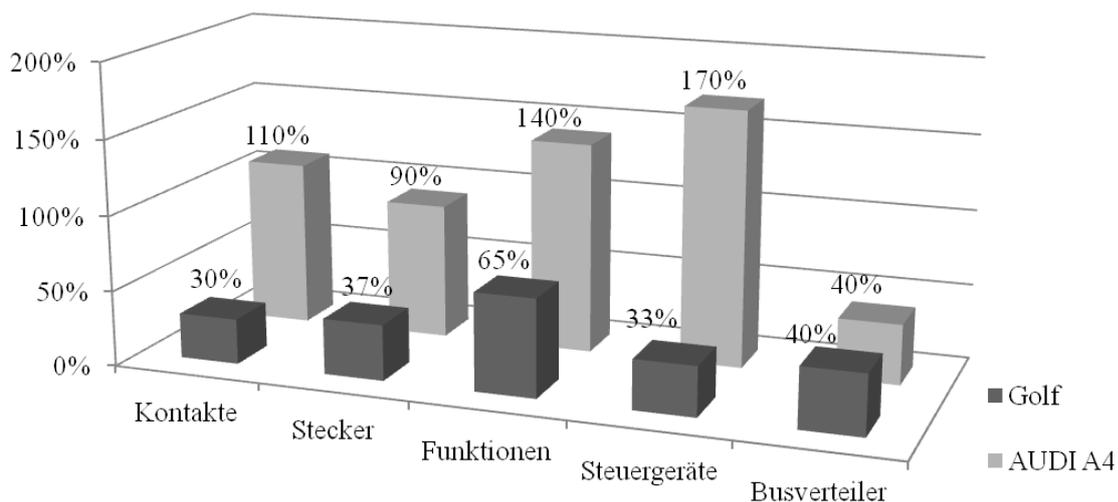


Abbildung 1.1: Zunahme an E/E-Komponenten und Funktionen zwischen 2003 und 2013 bei den Modellen VW Golf und AUDI A4, vergleiche [3], [4].

Dieses Wachstum an Funktionen, E/E-Komponenten und Schnittstellen bei gleichzeitig hohen Anforderungen hat zu einer Zunahme der Systemkomplexität und damit verbunden einer Erhöhung des Entwicklungs- und Integrationsaufwands geführt. Deshalb gibt es aktuell bei nahezu allen Automobilherstellern Bestrebungen, ihre E/E-Architektur zu verändern, um bei stetig wachsenden Anforderungen die Komplexität beherrschbar halten zu können, vergleiche unter anderem [5], [6], [7], [8], [9] und [10].

Im Zuge einer Promotion in Kooperation von Siemens CT und dem Karlsruher Institut für Technologie soll untersucht werden, in wie weit eine Veränderung der IKT-Architektur Rückwirkungen auf die Auslegung der Energieversorgung hat. Zur realitätsnahen Ermittlung bestehender Anforderungen an die E/E-Architektur sowie Chancen und Risiken, die sich aus der Veränderung der IKT insbesondere auch für die Energieversorgung ergeben können, wurde das im folgenden vorgestellte Experteninterview durchgeführt.

2 Methodik

Die Experteninterviews dienen zur realitätsnahen Erfassung des aktuellen Stands der Technik, den heutigen Entwicklungsprozessen und den sich verändernden funktionalen und nicht funktionalen Anforderungen an das Fahrzeugbordnetz. Ziel dieser Interviews ist es, basierend auf realitätsnahen Anforderungen verschiedener Stakeholder des Entwicklungsprozesses, einen möglichen Entwicklungspfad für zukünftige E/E-Architekturen aufzeigen zu können. Im folgenden Kapitel wird die Methodik der Datenerhebung und -auswertung im Zuge des Interviews dargelegt.

2.1 Planung und Vorbereitung

Ziel der Experteninterviews ist es, eine möglichst umfangreiche Darstellung der Ausprägung der heutigen E/E-Architektur, heutige Trends und die zugehörigen funktionalen und nicht funktionalen Anforderungen zu liefern. Um einen breiten Einblick in die verschiedenen Aspekte der IKT-Architektur zu erhalten, wurden Vertreter verschiedener Firmen und Hochschulen mit unterschiedlichem Hintergrund als potentielle Interviewpartner ausgewählt und kontaktiert. Dies ermöglichte es, im Laufe der Datenerhebung verschiedene Stakeholder-Rollen mit spezifischen Anforderungen an das System durch entsprechende Experten abzudecken.

Das Interview wurde im deutschen Raum durchgeführt, weshalb auch die Auswahl der Experten aus Vertretern deutscher Universitäten, Zuliefer- und Automobilfirmen besteht. Im Folgenden werden die Experten drei unterschiedlichen Stakeholder-Rollen zugeteilt:

- **Forschung:** Vertreter von Universitäten und universitätsnahen Einrichtungen
- **Kunde:** Vertreter verschiedener deutscher Automobilkonzerne
- **Anbieter:** Vertreter verschiedener deutschen Zuliefer-Firmen

Diese Wahl soll abbilden, dass die Automobilkonzerne (OEM – Original Equipment Manufacturer) im Bereich des Bordnetzes als Kunde der Zulieferindustrie (OES - Original

Equipment Supplier), dem Anbieter, auftreten. Da Vertreter der Forschung keiner dieser Rollen zugeordnet werden können, werden diese als eigene Kategorie geführt. Um Aussagen von Vertretern einzelner Gruppen zu referenzieren, wird im Folgenden auf diese Festlegung Bezug genommen. Potentielle Käufer von Fahrzeugen, also Kunden des OEM, werden als Endkunde bezeichnet.

2.2 Homogenisierung der Fachsprache

Mit dem Ziel die Vergleichbarkeit der Aussagen unterschiedlicher Interviewpartner gewährleisten zu können, wurden die Aussagen in eine für diesen Bericht standardisierte Fachsprache überführt. Hierfür wurden zunächst die erwarteten und für das Interview erforderlichen Fachbegriffe definiert. Diese Definitionen sind in Tabelle 2.1 dargelegt. Zu Beginn des Interviews wurde auf die Definition der Begriffe hingewiesen und bei anderem Verständnis des Experten, dessen Aussagen in einem ersten Auswertungsschritt homogenisiert, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Im Laufe des Interviews zeigte sich, dass insbesondere der Begriff „Bordnetz“ von den befragten Experten unterschiedlich interpretiert und verwendet wird¹.

Der verwendete Glossar wurde im Zuge des Interviews ergänzt und überarbeitet, falls eine eindeutige Belegung der verwendeten Begriffe unter den befragten Experten existiert, um zukünftige Unstimmigkeiten direkt zu umgehen. Bei abweichendem Verständnis der Begriffe durch die Experten wird auf die aus der Literatur bekannten Deutungen zurückgegriffen. In Tabelle 2.1 sind alle im Interview und in diesem Bericht verwendeten Begriffe zur Beschreibung verschiedener Teile der E/E-Architektur aufgeführt.

¹Neben der hier vorgestellten Definition wird der Begriff Bordnetz von vielen Experten verwendet, um den Kabelbaum und die Energiequellen und -senken ohne die Elektronik zu beschreiben

Begriff	Beschreibung
E/E-Architektur [11]	<p>E/E-Architektur beschreibt das vernetzte eingebettete System:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Funktions- und Softwarearchitektur • Hardwarekomponenten • Logische und physische Vernetzung der Komponenten • Bauräume, Verlegewege
Informations- und Kommunikations-technik (IKT) [12]	<p>IKT beinhaltet die Übertragung von Informationen durch den Raum (Kommunikation) und durch die Zeit (Speicherung) sowie ihre geregelte Umformung in Raum und Zeit mittels Algorithmen (Computer-Berechnung).</p>
Systemarchitektur [13]	<p>Systemarchitektur umfasst des gesamten Systemdesigns. Dies beinhaltet die Zusammenhänge von Systemelementen, deren Beziehung zur Software und ihr Design. Das Design inkludiert Anforderungen an Speicher-/ Kapazität, Schnittstellen, Leistung und Sicherheit. Weiterhin sind Betriebsarten der Komponenten, diesbezügliche Abhängigkeiten und das dynamische Verhalten beschrieben.</p>
Funktionsarchitektur [1]	<p>Funktionsarchitektur beschreibt die funktionalen Zusammenhänge der kundenerlebbaren Funktionen (Automotive Function), also der Beziehungen zwischen der Eingabe, dem Sensor, der Funktion selbst und der Ausgabe, dem Aktor.</p>
Softwarearchitektur	<p>Beschreibt die Struktur und das Verhalten der Softwareelemente. Dies umfasst die Zerlegung in einzelne Softwarekomponenten (Applikationen) und deren Verteilung auf Hardware (Deployment) sowie ihr dynamisches Zusammenspiel.</p>
Hardwarearchitektur	<p>Umfasst die Gesamtheit der elektromechanischen oder rein elektrisch / elektronischen Komponenten zur Datenverarbeitung. Dazu gehören Steuergeräte, intelligente Sensoren und Aktoren.</p>

Begriff	Beschreibung
Kommunikationsnetz, Kommunikationsbordnetz	Das Kommunikationsnetz stellt den Signalfluss zwischen den elektrischen und elektronischen Bauteilen sicher. Es umfasst die Hardwarearchitektur und alle weiteren Datenquellen mit der darauf zur Datenverarbeitung installierten Software und ihrer zur Kommunikation benötigten elektrischen Vernetzung.
Energieversorgungsnetz, Energiebordnetz	Das Energieversorgungsnetz stellt den Energiefluss zwischen den elektrischen Bauteilen sicher. Es umfasst alle Energiequellen, -senken und die benötigte elektrische Vernetzung.
Kabelbaum [2]	Der Kabelbaum stellt die Energie- und Signalverteilung innerhalb eines Kraftfahrzeugs sicher (auch physisches Bordnetz genannt). Wird oft in einzelne Bereiche unterteilt wie Motorraum- und Karosseriekabelbaum.
Bordnetz [14]	Das Bordnetz bezeichnet die Gesamtheit aller elektrischen Komponenten im Fahrzeug. Es beinhaltet das Kommunikations- und Energieversorgungsnetz sowie die zur Befestigung benötigte Mechanik.
HV-Bordnetz	Berücksichtigt alle im Hochvolt-Inselnetz eines Elektro- oder Hybridfahrzeug verbauten Komponenten. Hochvolt (HV) beschreibt die erhöhte Spannungslage von 100-800V in elektrischen Antriebssystemen

Tabelle 2.1: Glossar der verwendeten Begriffe

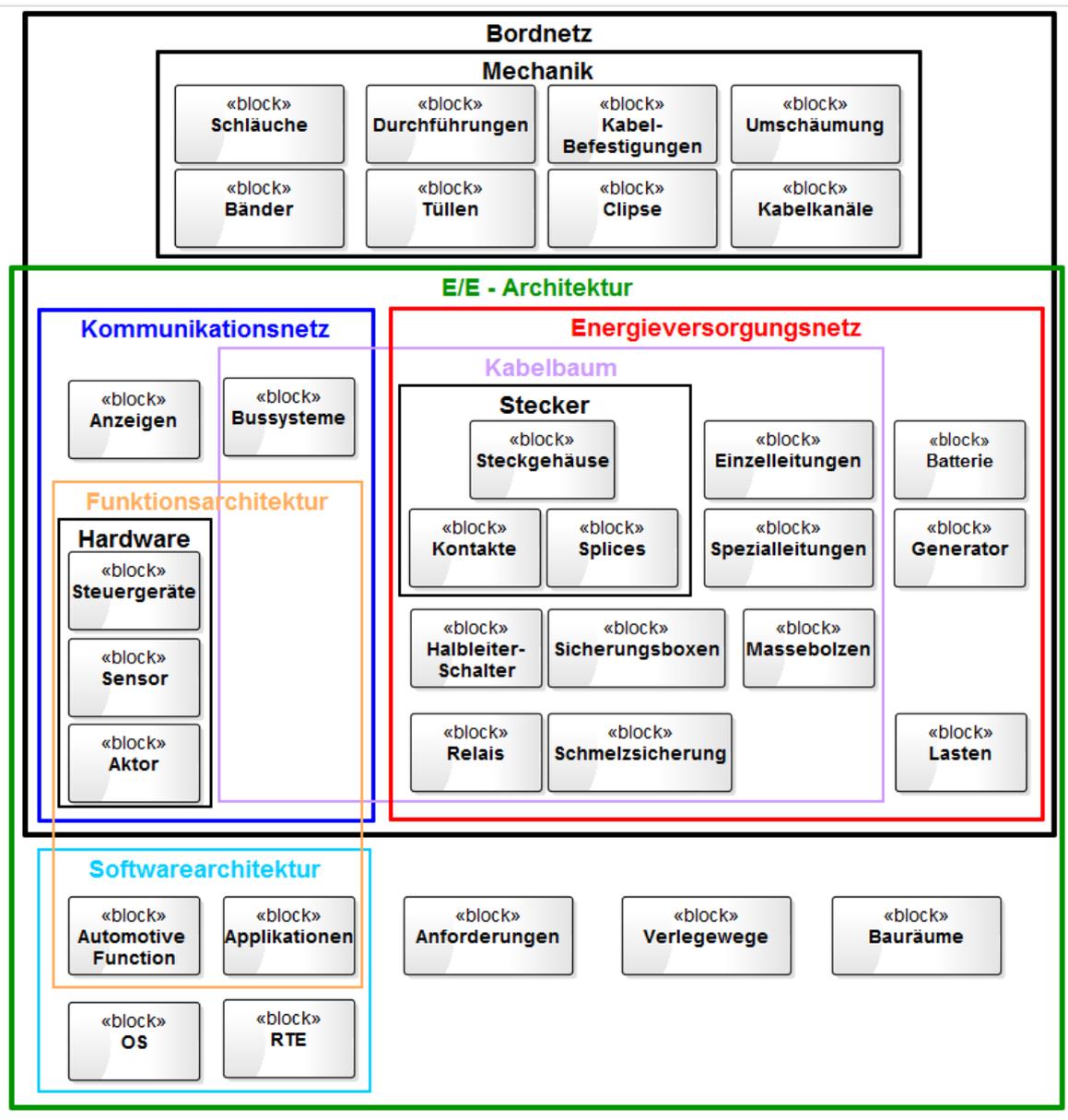


Abbildung 2.1: Gegenseitige Abgrenzung der in diesem Bericht verwendeten definierten Begriffe

2.3 Durchführung

Die Interviews wurden persönlich, telefonisch oder schriftlich geführt. Es wurde die Methode des Leitfadenterviews angewendet. Hierbei handelt es sich um eine Methode der

qualitativen empirischen Sozialforschung, die sich empfiehlt, wenn verschiedene Themen behandelt werden müssen, die nicht durch den Interviewpartner, sondern durch das Ziel des Interviews festgelegt werden [15]. Mit Hilfe eines Leitfadens mit vorformulierten Fragen wird hierbei sichergestellt, dass alle gewünschten Themengebiete durch den Interviewpartner angesprochen werden. Die Fragen werden hierbei so offen formuliert, dass die interviewten Experten frei berichten, kommentieren und erklären können und folglich der Interviewinhalt nicht durch die Fragen des Interviewers vorweggenommen ist [15]. Der Leitfaden enthält keine Antwortmöglichkeiten, sondern stellt nur sicher, dass die Aussagen verschiedener Experten bezüglich der angesprochenen Themengebiete miteinander vergleichbar sind. Die persönlich oder telefonisch geführten Interviews dauerten zwischen 30 min und 60 min. Während des Gesprächs wurden Protokolle angefertigt, die als Grundlage der Datenanalyse dienen.

Anzahl Interviews	davon telefonisch	davon schriftlich	davon persönlich
26	20	4	2

Tabelle 2.2: Übersicht über die Anzahl und Art der geführten Interviews

Die Zusammensetzung der befragten Experten ist in Tabelle 2.3 dargestellt. In der Kategorie Anbieter waren Experten von Komponenten- und Systemlieferanten, Konfektionäre, Werkzeuglieferanten und Dienstleister vertreten. Die von den Experten angegebenen Erfahrungen und Hintergründen sind Mindestwerte aus der Gesamtheit der Befragten, da diese nicht mit vorgegebenen Antwortmöglichkeiten gezielt abgefragt wurden. Ein Experte kann in mehreren Bereichen Erfahrung gesammelt haben. So kann ein heutiger Bereichsleiter auch Erfahrung als Entwickler und Projektleiter haben oder ein Experte für Kraftfahrzeuge (KFZ) speziell auch Erfahrungen im Bereich von Elektrofahrzeugen (EFZ) vorweisen. Weiterhin waren bei einigen Telefoninterviews mehrere Experten anwesend. Die dabei erfassten Daten wurden als ein Interview gewertet, weshalb die Anzahl der tatsächlich befragten Personen von der Anzahl der gezählten Interviews abweicht. Bei den schriftlich beantworteten Leitfäden kann keine Aussage darüber getroffen werden, wie viele Personen bei der Beantwortung der Fragen mitgewirkt haben, weshalb hier nur der kontaktierte Experte berücksichtigt wurde.

Kategorie	Anzahl	Befragte Personen	Erfahrung als...		[Anzahl Personen]	
	Inter- views		Entwickler	Projekt- leiter	Abteilungs- leiter	Bereichs- leiter
Forschung	7	7	5	5	2	2
Kunde	8	9	6	6	3	2
Anbieter	11	16	9	5	4	4
Gesamt	26	32	20	16	9	8

Kategorie	Tätigkeiten / Erfahrungen im Bereich von...				[Anzahl Personen]	
	KFZ	EFZ	Kompo- nenten	System- architek- tur	Kabelbaum	Tool-Ent- wicklung
Forschung	7	5	3	3	1	0
Kunde	8	4	2	4	3	0
Anbieter	10	5	6	4	6	2
Gesamt	25	14	11	11	10	2

Tabelle 2.3: Übersicht über Erfahrungen und Kompetenzfelder der befragten Experten abhängig von den drei vorgestellten Kategorien. Die Zahlen der Kompetenzfelder sind Mindestwerte, da keine gezielte Abfrage nach der Gesamtheit dieser Erfahrungen durchgeführt wurde.

2.4 Gestaltung des Leitfadens

Der erste Fragenblock des Leitfadens zielt auf die Feststellung des heutigen Stands der Technik und den heutigen Entwicklungsprozess ab. Hierfür wird nach typischen Merkmalen im Aufbau heutiger Fahrzeugbordnetze gefragt, wie der heutige Bordnetzentwicklungsprozess bei konventionellen Fahrzeugen gestaltet ist, und ob sich dieser Prozess von dem von Elektrofahrzeugen unterscheidet.

Zur gezielten Ermittlung von Anforderungen dienen ebenfalls mehrere Fragen. Dazu gehören heutige Anforderungen an E/E-Architekturen, heutige Optimierungskriterien und deren Priorisierung sowie Herausforderungen, die die E/E-Architektur meistern muss mit den dazugehörigen Hürden. Die genannten Herausforderungen können mit der gezielten Nachfrage nach zukünftigen Anforderungen weiter präzisiert werden. Weiterhin wird danach gefragt, ob zukünftig neue Kommunikations- und Energieverteilungs-Topologien benötigt

werden, um die vom Experten genannten zukünftigen Herausforderungen und Hürden bedienen zu können. Zur Einordnung der Aussagen des Befragten dient die Frage nach der persönlichen Definition von evolutionärer Weiterentwicklung sowie revolutionärem Technologiebruch und in wie weit diese Prinzipien heute bei der Bordnetzentwicklung Anwendung finden.

Das Abfragen nach der Entwicklung und Zukunftsfähigkeit verschiedener heutiger Merkmale des Bordnetzes soll außerdem gezielt verschiedene Trends ausfindig machen. Hierzu gehören die Domänenstruktur, die 12V Spannungsebene, das zentrale Sicherungskonzept, die Anzahl von Energiespeichern und die Vorteile von Ethernet gegenüber heutigen etablierten Bussen im Automobil wie FlexRay, MOST und CAN. Außerdem wird der Experte nach seiner persönlichen Vision einer zukünftigen E/E-Architektur gefragt. Dies eröffnet die Möglichkeit zur Definition einer persönlichen Wunschliste des Experten unabhängig von heutiger verfügbarer Technik. Zum Abschluss sollten die Experten Branchen mit möglichen parallelen zur Automobilindustrie und die Bereiche, in denen diese Branchen als Blaupause dienen können, benennen.

Der gesamte für das Interview verwendete Leitfaden ist im Anhang in Kapitel A dargelegt. Der genaue Wortlaut der Fragen ist im Laufe des Interviews iterativ leicht abgewandelt und ergänzt worden, um Missverständnisse, die durch etwaige unscharfe Formulierung entstehen können, zu vermeiden. Dies betrifft insbesondere die schriftlichen Interviews, bei denen eine genaue Darlegung der Intention der Frage nicht möglich ist.

2.5 Auswertung

Die erfassten Daten wurden abhängig von den Fragen in vorbereiteten Ergebnismatrizen gesammelt. Diese bestanden, wie in Tabelle 2.4 dargestellt, aus vorher überlegten Clustern, die durch die Interviewergebnisse iterativ erweitert und verändert wurden. In Tabelle 2.4 sind zunächst die Anforderungen Wiederverwendung, Kosten, Gewicht und funktionale Sicherheit² (FuSi) erfasst. Diese wurden auch von allen Experten entsprechend genannt, wobei beispielsweise die Forderung nach kleinen Querschnitten in diesem Fall dem Kriterium geringes Gewicht zugeordnet wird. Die Cluster Security und Echtzeitfähigkeit wurden

²Funktionale Sicherheit bezeichnet den Teil der Systemsicherheit, der von der korrekten Funktion sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer Systeme abhängig ist [16]. Ziel ist die Vermeidung einer inakzeptabler Gefährdung für Personen bei möglichen Fehlfunktionen solcher Systeme. Die in [17] beschriebene Norm ISO 26262 beschreibt ein Vorgehensmodell zur Umsetzung der funktionalen Sicherheit im Fahrzeug. Sie wurde von der für industrielle Systeme geltenden Norm IEC 61508 abgeleitet [16].

entsprechend der Aussagen der Experten ergänzt.

Somit konnten ähnliche Aussagen in Verbindung gebracht werden. Zeitlich erfolgte die Aufbereitung der gesammelten Daten mit Hilfe dieser Ergebnismatrizen direkt im Anschluss an die geführten Interviews, um das Risiko einer Fehlinterpretation der Mitschriebe zu minimieren. Die zur Ableitung der Ergebnisse verwendeten Ergebnismatrizen sind, bis auf die Zuteilung der Experten in die oben genannten Kategorien, anonymisiert. Die Auswertung der Ergebnisse in Kapitel 3 erfolgte unabhängig von den einzelnen Fragen in den im vorherigen Kapitel dargelegten Themenblöcken.

Aussagen die von mindestens einem Experten aus jeder Gruppe getätigt wurden, werden bei der Auswertung in Kapitel 3 nicht explizit als Zitat gekennzeichnet. Einzelne zitierte Aussagen werden der Gruppe zugeordnet, der der jeweilige Experte angehört. In Tabelle 2.4 würde die Anforderung der Echtzeitfähigkeit somit der Forschung zugeordnet während Kosten, Gewicht und Wiederverwendung ohne besondere Kennzeichnung als Anforderungen an die E/E-Architektur wiedergegeben würden. Die in diesem Bericht dargelegten Aussagen der Experten sind folglich nicht statistisch belegt, sondern können die Meinung einiger weniger Experten unterschiedlichen Hintergrunds widerspiegeln. Dies genügt dem Ziel dieses Berichts, eine Sammlung realitätsnaher Anforderungen verschiedener Stakeholder des Entwicklungsprozesses zu generieren und Problemfelder und Trends aufzuzeigen.

Kategorie	Wieder- verwen- dung	Kosten	Gewicht	FuSi	Security	Echtzeit- fähigkeit
Kunde	Über- tragbar (andere Modelle)	x	x	x		
Anbieter	x	x	kleine Quer- schnitte	x	Daten- sicherheit	
Forschung	x	x	x	immer wichtiger		Immer wichtiger

Tabelle 2.4: Ausschnitt einer Ergebnismatrix zur Sammlung der heutigen Anforderungen an E/E-Architekturen

3 Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse des Experteninterviews aufbereitet. Zunächst wird hierfür in Kapitel 3.1 der mit Hilfe des Interviews ermittelte Stand der Technik des automobilen Bordnetzes und des zugehörigen Entwicklungsprozesses dargelegt. Im Anschluss stellt Kapitel 3.2 kurz das unterschiedliche Verständnis der befragten Experten von Evolution und Revolution dar. In Kapitel 3.3 werden die ermittelten Anforderungen, Herausforderungen und Hürden aufgezeigt. Im Anschluss gehen die Kapitel 3.4 und 3.5 auf mögliche Veränderungen des Kommunikationsnetz sowie des Energieversorgungsnetzes ein.

Da es sich bei allen in diesem Kapitel dargelegten Ergebnissen um Interviewaussagen der verschiedenen Experten handelt, wird darauf verzichtet in jedem Satz darauf hinzuweisen. Den drei Gruppen zugeordnete wörtliche Zitate aus den Interviews werden, wenn dies für den Zusammenhang als hilfreich erachtet wird, in den Text integriert. Wenn keine explizite Zuordnung der Aussagen zu einer bestimmten Gruppe abgebildet ist, wurde diese Aussage von mindestens einem Experten jeder Gruppe getätigt. Es können auch widersprüchliche Aussagen verschiedener Experten aufgeführt sein, wenn dies für den Autor als sinnvoll und wichtig für das Gesamtbild erschien. Ergänzende Inhalte, die nicht auf Aussagen von Experten basieren sondern auf Literaturquellen, sind als solche gekennzeichnet.

3.1 Stand der Technik automobiles Bordnetz

In diesem Kapitel wird in 3.1.1 und 3.1.2 kurz der aktuelle Stand der Technik der E/E Architektur erläutert und in 3.1.3 näher auf den bestehenden Entwicklungsprozess eingegangen. Anschließend wird in 3.1.4 die E/E-Architektur von konventionellen Verbrennungsfahrzeugen und Elektrofahrzeugen sowie der zugehörige Entwicklungsprozess verglichen.

3.1.1 Aufbau Energieversorgung

Das konventionelle 12V-Verteilnetz im Fahrzeug ist heute etablierter Standard. Es handelt sich hierbei um ein Gleichspannungs-Netz mit Leistungsverteilern, das über seine Isolation, Stromtragfähigkeit und Leistungsfähigkeit charakterisiert werden kann. „Die hierarchische Baumstruktur des Energieversorgungsnetzes ist in ihren Grundzügen seit 100 Jahren ähnlich. Grund hierfür ist einerseits das Beibehalten einer zentralen Energiequelle und andererseits die damit verbundene zentrale Absicherung“ (Forschung). Das Packaging und Routing der Komponenten und verlegten Kabel wurde im Laufe der Jahre optimiert.

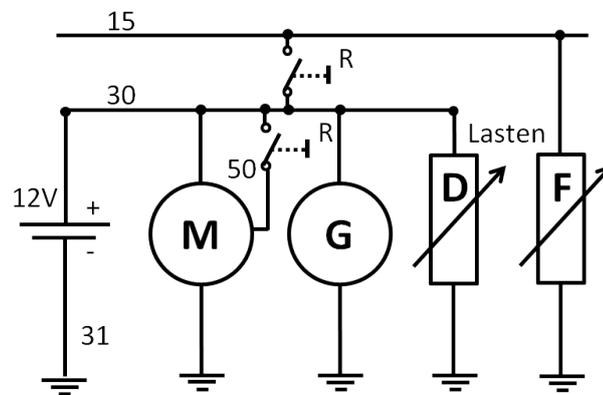
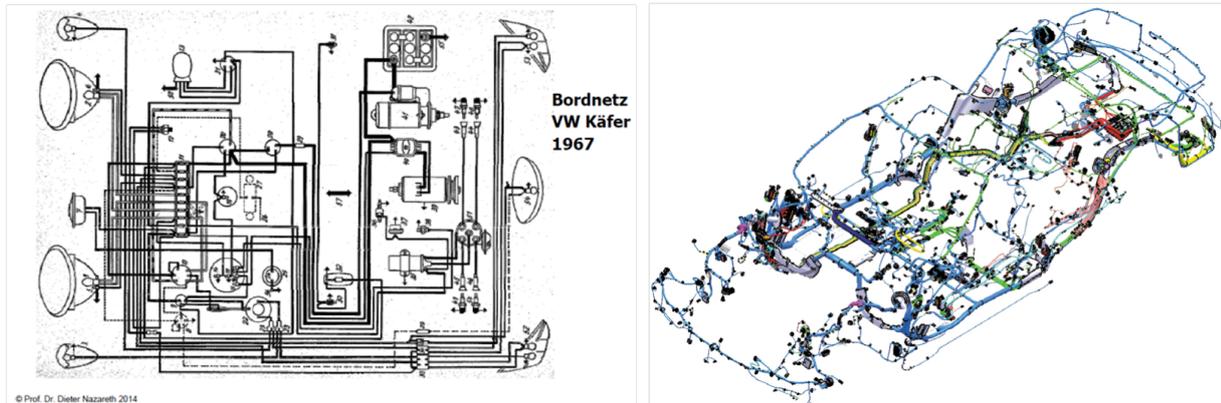


Abbildung 3.1: Einfache schematische Darstellung des Energieversorgungsnetzes eines Verbrennungsfahrzeugs, vergleiche [18], [19]: Klemme 30 Dauerplus verbindet die 12V-Batterie mit Generator G, Starter M und Dauerverbrauchern D. Klemme 31 bezeichnet die Fahrzeugmasse. Die Zündung aktiviert über Relais R Klemme 50 des Starters und Klemme 15 zur Versorgung der Fahrverbraucher F.

Der zentrale Bleispeicher dient sowohl als Starterbatterie für den Verbrennungsmotor als auch zur Stabilisierung der Systemspannung. Ein mit dem Verbrennungsmotor gekoppelter Generator, oder ein DC/DC-Wandler im Elektrofahrzeug, versorgen Verbraucher, Steuergeräte, Kommunikation und Logik mit elektrischer Energie. Folglich ist die Energieerzeugung beim Verbrennungsfahrzeug im Gegensatz zum Elektrofahrzeug abhängig von der aktuellen Fahrzeuggeschwindigkeit, weshalb der 12V -Speicher zur Stabilisierung der Spannung und zur Sicherstellung der Energieversorgung unerlässlich ist. „Das 12V System stellt dabei einen guten Kompromiss zwischen Energieeffizienz und Kosten bei der Versorgung heutiger Komponenten dar“ (Kunde).



(a) Bordnetz der ersten Generation des VW Käfers (1967)

(b) Bordnetz des BMW 7er (2008)

Abbildung 3.2: Ein Bordnetz der ersten Generation im VW Käfer (1967) (Quelle: [20]) im Vergleich mit einem BMW 7er (2008) (Quelle: [21]): Während links elektrische Komponenten wie Licht und Hupe noch direkt verdrahtet werden ist der Kabelbaum rechts in verschiedene Bereiche wie Karosserie (blau) und Cockpit (grün) eingeteilt.

3.1.2 Aufbau Kommunikationsnetz

Im Gegensatz zum zentralen Energieversorgungsnetz handelt es sich beim Kommunikationsnetz um eine multiple Netzwerkstruktur, bestehend aus mehreren Netzwerken mit eigenen Teilnehmern. Hierfür werden verschiedene Bussysteme im Fahrzeug eingesetzt. Hierzu gehören:

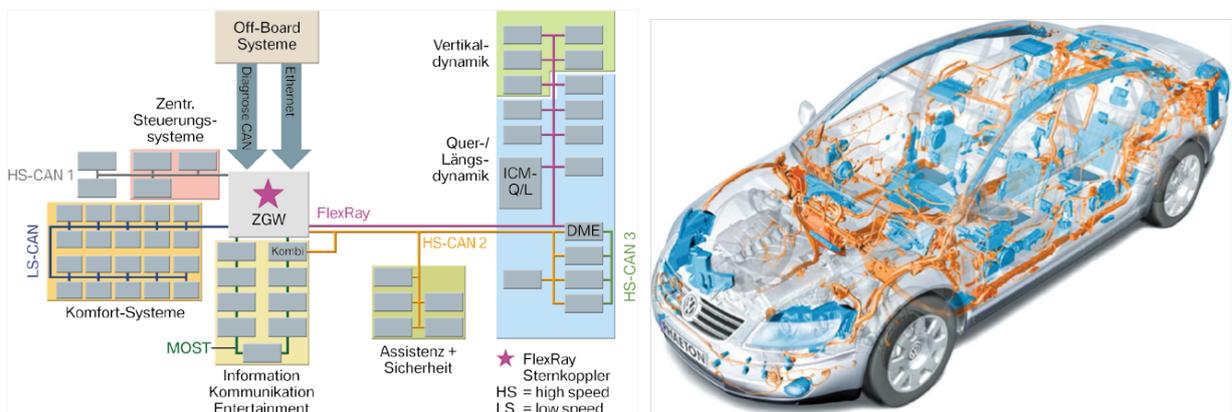
- FlexRay
- MOST
- CAN / CAN fd
- LIN

Zur Realisierung der Funktionen wird eine Vielzahl an Steuergeräten mit unterschiedlicher Komplexität ins Fahrzeug integriert und miteinander, sowie mit ihren benötigten Sensoren und Aktoren vernetzt. „Heute gibt es bis zu 20 Teilnetze, 5 CAN und 15 LIN, vielleicht noch MOST und FlexRay, die über zentrale Gateways Daten miteinander austauschen können“ (Forschung). LIN ist sehr kostengünstig und wird deshalb als ergänzendes

Subnetz unterhalb der anderen Bussysteme eingesetzt. Die realisierten Netzwerke sind in funktionsorientierte Domänen unterteilt [11]:

- Antriebsstrang (Powertrain)
- Fahrerassistenz und Fahrwerk (Chassis)
- Innenraum und Komfort (Body)
- Telematik und Infotainment (Telematic)

Die funktionale Einteilung in Domänen dient dazu, Funktionen mit regem Datenaustausch und ähnlichen Anforderungen zusammenzufassen. Gateways zwischen den Domänen übertragen folglich nur unerlässliche Signale. Zumeist werden alle im Fahrzeug realisierten Teilnetze über ein zentrales Gateway miteinander verbunden, über welches die ereignisspezifische Kommunikation zwischen den einzelnen Netzen realisiert wird. Die Auswahl des verwendeten Busses im jeweiligen Subnetz erfolgt anhand zugehörigen Anforderungen wie Safety, Datenrate, Echtzeit, Kommunikationsfähigkeit, Anzahl der Teilnehmer etc, vergleiche auch [18].



(a) Kommunikationsnetz des BMW 7 F01 (2008) mit zentralem Gateway ohne LIN-Sub Busse (b) Verteilung Elektronik (blau) und Kabelbaum (braun) in einem Oberklassefahrzeug

Abbildung 3.3: Links Kommunikationsnetz des BMW 7 F01 (Quelle: [21]), rechts Verteilung Elektronik und Kabelbaum in einem Oberklassefahrzeug (Quelle: [1])

Teilweise werden Lasten im Fahrzeug heute mittels eines zentralen Bodysteuengerätes verteilt und gesteuert. Diese Bodysteuengeräte erreichen allerdings laut Experten aktuell die Grenzen der Realisierbarkeit, weshalb es sinnvoll wäre, die dort gebündelte Funktionalität für zukünftige Systemarchitekturen wieder zu trennen und aufzuteilen.

3.1.3 Entwicklungsprozess

Der in der Automobilbranche realisierte Entwicklungsprozess für die E/E-Architektur nach dem V-Modell gliedert sich links in Systemanforderungen und -design, Spezifikation mit definiertem Lastenheft, Entwicklung der Komponenten und Funktionen und rechts in Einbau, Validierung und Erprobung, vergleiche auch [1] und [11]. „Heute wird mehr und mehr regelbasiert entwickelt, um anhand von Konstruktions- und Designrichtlinien in der Konstruktion nach Fehlern suchen zu können“ (Forschung). Der Einsatz der Hardware in the Loop Entwicklungsmethodik ermöglicht ebenfalls ein frühes Erkennen von Fehlern.

Der Entwicklungsprozess der E/E-Architektur führt dabei von der Frage, welche Funktionen sollen ins Fahrzeug über die Definition der Steuergerätetopologie zur Partitionierung der Funktionen auf den Steuergeräten. Auf dieser Grundlage wird anschließend, mit Hilfe einer CAE / CAD gestützten Entwicklungsumgebung, das physische Bordnetz zur flexiblen Vernetzung der gewünschten Funktionen und Komponenten ausgelegt und die Komponenten auf den Bauraum verteilt, das sogenannte Packaging und Routing. Ziel ist es, eine zweckmäßige und kostengünstige Verteilung von Funktionen auf Elektroniken unter Berücksichtigung der sinnvollen Vernetzung zu realisieren. Hier muss der Zielkonflikt zwischen viel Elektronik oder viel Vernetzung sprich vielen Kabeln gelöst werden.

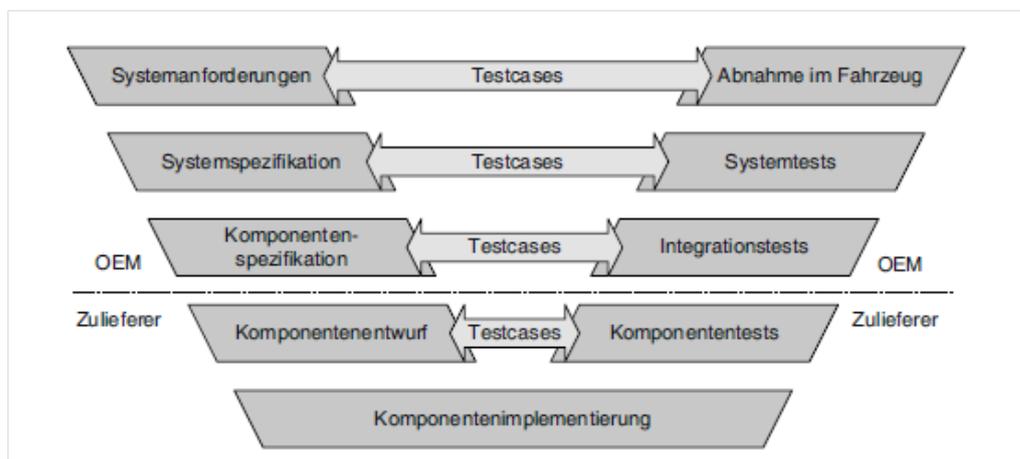


Abbildung 3.4: Diagramm zur Unterteilung einzelner Entwicklungsschritte der Spezifikation links und des Tests rechts auf verschiedene Systemebenen (Quelle: [11])

Weiterhin prägt das eigene Markenverständnis des Kunden die Entwicklung (Forschung). Vor diesem Hintergrund werden neue Funktionen ausgewählt, entwickelt und der Innova-

tionsgrad des neuen Fahrzeugmodells festgelegt. Für die Integration ins Fahrzeug müssen sich die Entwickler des Kabelbaums, die EMV Experten und die Steuergeräteentwickler absprechen.



Abbildung 3.5: Kabelsatz des Audi A8 (2011) auf einer Schautafel mit einem Gewicht von ca. 50 kg (Quelle: [22])

„Die Entwicklung des Kabelsatzes wird als letztes in den Entwicklungsprozess einbezogen, weshalb dieser eventuell vorher entstandene Fehler abfangen muss“ (Anbieter). Der Entwurf basiert auf sogenannten Mission Profiles¹, mit deren Hilfe eine Abschätzung der Belastung im realen Einsatz vorgenommen wird. Die elektrische Auslegung wiederum beruht auf einer Lastenabschätzung. „Hierbei muss ein kurzfristiger Leistungsabruf für wenige Sekunden und eine definierte Grundlast für 10min verfügbar sein“ (Anbieter). Die im Kommunikationsnetz eingesetzten Busse werden anhand der zu erfüllenden Anforderungen wie Bandbreite und Echtzeit ausgewählt. Für die Produktion ist eine geometrisch sinnvolle Unterteilung des Kabelbaums wie Motorraum, Cockpit, etc. zweckmäßig, vergleiche Abbildung 3.2.

Dies steht im Gegensatz zur Komponentenentwicklung, die in speziellen Fachabteilungen oder bei verschiedenen spezialisierten Zulieferern durchgeführt wird. Die entworfene

¹Temperaturprofile, Vibrationen und das Wirken von elektrischen und mechanischen Feldern. Die Mischung der relevanten Faktoren in ihrer Art, Intensität und Dauer sollten zur Bestimmung der Zuverlässigkeit im Feldeinsatz so genau wie möglich wiedergegeben werden [23]

E/E-Architektur muss folglich berücksichtigen, dass Hardware unterschiedlicher Hersteller zusammengeführt werden muss. Die Einteilung in funktionale Domänen vereinfacht die Abstimmung dieser verteilten Entwicklung und Produktion, da eine Abstimmung weniger Beteiligter in den meisten Fällen ausreicht. Teilsysteme können, ihren spezifischen Anforderungen entsprechend, autark entwickelt werden. Hier gilt die Regel gewünschte Funktionen des Gesamtfahrzeugs werden zu Steuergeräten mit relativ klar umrissenen Funktionen, die zusammen mit den für die Funktion benötigten Aktoren und Sensoren ein System bilden. „Es wird nicht in Funktionen und Wirkketten gedacht, sondern maximal in Domänen, teilweise auch nur innerhalb des zu entwickelnden Steuergerätes und seiner spezifischen Funktionen“ (Anbieter). Deshalb ist der realisierte Entwicklungsprozess selbst domänenbehaftet.

Legacy: evolutionäre Weiterentwicklung

Der Entwicklungsprozess wird nicht von Grund auf neu durchlaufen, sondern die bereits für die Serie bestehende E/E-Architektur wird für die nächste Generation modifiziert und um gewünschte neue Funktionen ergänzt, vergleiche Abbildung 3.6. Was nicht geändert werden muss bleibt gleich. „Durch diese iterative, evolutionäre Weiterentwicklung ist die Veränderung zum vorherigen System meist kleiner als 10%“ (Forschung). Vorteil der evolutionären Weiterentwicklung ist, dass die Übernahme von Gleichteilen von Generation zu Generation zu billigeren Komponenten und damit zu einer kosteneffizienten Realisierung führt (Kunde). „Den Endkunden interessieren schließlich die Kosten der von ihm gewünschten Funktionen im Fahrzeug und nicht deren Realisierung“ (Kunde). Außerdem kann auf vorhandene Erfahrungen zurückgegriffen werden und der Produktentstehungsprozess wird verkürzt. Die Bedürfnisse der Endkunden sind bekannt und werden weiter bedient. Dies reduziert das Risiko einer möglichen Fehlentwicklung.

Allerdings hat die evolutionäre Weiterentwicklung nicht nur Vorteile. „Das Weiterverwenden der bestehenden Architektur verhindert Quantensprünge in der Topologie einer bestehenden Serie“ (Kunde). Experten aus allen drei Gruppen haben insbesondere die aus der Legacy wachsende Systemkomplexität als großes Problem heutiger E/E-Architekturen hervorgehoben. Dies spiegelt sich in einer großen Zahl an Subsystemen und damit verbundenen Ästen und Abzweigungen im Kabelbaum, vergleiche Abbildung 3.2, Abbildung 3.3 und Abbildung 3.6. Grund hierfür ist die, wegen des hohen Anteils von Legacy in der Entwicklung, nicht wirklich systematische Auslegung und Optimierung des Gesamtsystems, wie auch die in Tabelle 3.1 dargelegten Expertenantworten nahelegen.

Forschung	Kunde	Anbieter
„Heute wird versucht, eine möglichst durchgängige Entwicklung zu generieren, ohne die bisher übliche manuelle Übertragung und Anpassung von Daten im Laufe des Entwicklungsprozesses.“	„Die bisherige Auslegung ist nicht wirklich systematisch. Aktuell gibt es Ansätze zur systematischen Erfassung der Systemanforderungen, wie die Summe der zu versorgenden Lasten, möglicher Fahrzustände oder -situationen zur Auslegung des Bordnetzes.“	„Nicht konsequenter Entwicklungsprozess von der gewünschten Funktionalität des Gesamtfahrzeugs zurück auf die Einzelfunktionen und auf die Frage wie integriere ich das im Fahrzeug.“
„Es wird an bekannten Anforderungen festgehalten, auch wenn man sie heute nicht mehr braucht. Dieser historische Ballast muss abgeworfen werden.“	„Es ist schwierig mit dem vorhandenen Budget für die Entwicklung und den begrenzten Entwicklungszeiträumen eine Gesamtsystemoptimierung zu realisieren.“	„Gewachsene Architektur, die Schwächen aufzeigt, jedoch aus Zeitgründen von Plattformentwicklung zu Plattformentwicklung mit gezogen wird.“
„Gängige Praxis ist für die Integration neuer Funktionen einen neuen Ast in der Topologie zu implementieren, teils mit eigener Kommunikation und Gateway zur Verbindung mit dem restlichen System.“	„Das Mitführen von historischem Ballast hat das ehemals einfache elektrische Netz zur Versorgung der Lichtfunktionen und der Hupe zu einem hochkomplexen und relativ unstrukturierten System wachsen lassen.“	„Komponenten des bestehenden Fahrzeugs werden weiter verwendet und neue Funktionen mittels zusätzlicher Steuergeräte integriert.“
	„Hohe Anforderungen an die Vernetzung bringt Standardkomponenten an die Grenze zur Beherrschbarkeit der Komplexität“	„Schlechte Struktur macht System komplizierter als nötig.“

Tabelle 3.1: Zusammenfassung verschiedener Expertenaussagen zu Nachteilen der evolutionären Weiterentwicklung heutiger E/E-Architekturen

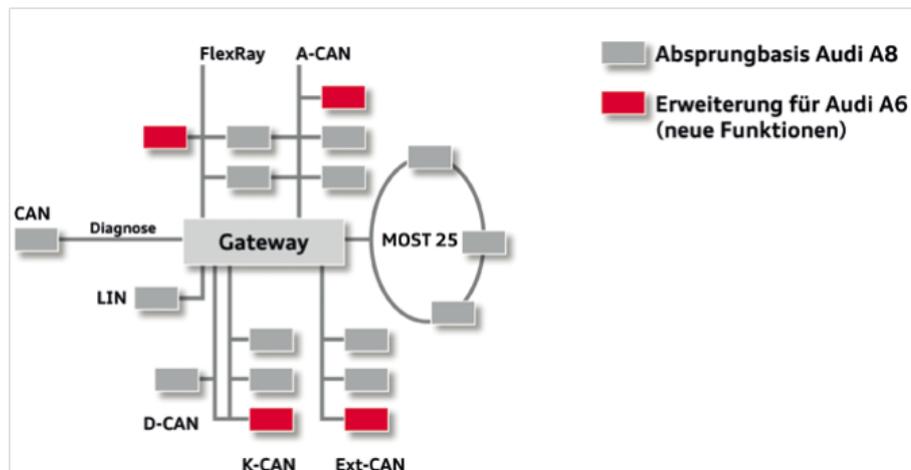


Abbildung 3.6: Evolutionäre Erweiterung einer bestehenden Bus-Architektur zur Integration neuer Funktionen: Abbildung vorhandener Seriensteuergeräte (grau) und Steuergeräte für die ergänzten Funktionen (rot) (Quelle: [24])

Die Kommunikation wird für die Funktionserweiterung in der E/E-Architektur in der Regel nur nachgezogen. „Teilweise ist die bestehende Kommunikationsmatrix so alt, dass nicht einmal mehr bekannt ist, wieso bestimmte Signale auf den Bus gelegt werden“ (Anbieter). Dies macht die „Beschreibung der Abhängigkeiten der Funktionen und folglich das vorhersagen des Gesamtfahrzeugverhaltens für die Garantie der Qualität und Absicherung äußerst schwierig“ (Kunde). Außerdem wurde der Trend zur Informationstechnik (IT) verschlafen. Der in der Automobilbranche realisierte Produktentstehungsprozess ist deutlich langsamer als der der Consumer Electric (CE) Industrie, weshalb es hier schwierig ist, zu konkurrieren. Als Beispiel hierfür wurde das fahrzeuginterne Navigationssystem genannt, dass im Vergleich mit einem Smart Phone deutlich teurer ist, aber gegenüber kostenlosen Navigations-Apps bereits nach kurzer Zeit veraltet.

Variantenmanagement

Der heute eingesetzte kundenspezifische Kabelbaum (KsK) enthält nur die aufgrund der gewählten Ausstattung benötigten Bauteile. Im Gegensatz zu vordefinierten Stufenleitungssätzen verschenkt der KsK so keine Ausstattung [2]. Allerdings ist die Beherrschung der Variantenvielfalt durch steigende Funktionsumfänge komplexer geworden. „Das Bordnetz kann durch die Kombination der verschiedenen Ausstattungsmöglichkeiten und den geometrischen Bauräumen schnell 100 Milliarden Varianten haben“ (Forschung). Referenz [1] nennt 10^9 theoretische mögliche Varianten des Hauptkabelbaums. Hierbei wird

die Auslegung einer oder mehrerer Varianten, die meistverkaufte, vielleicht auch die Voll- oder Basisausstattung, vom OEM optimiert. Die Produktion muss sicherstellen, dass der richtige KsK in das richtige Fahrzeug eingebaut wird. Deshalb stellt das Management der heutigen Variantenvielfalt der verschiedenen Fahrzeugreihen große Herausforderungen an die verteilte Entwicklung und Produktion des Bordnetzes und die damit verbundene Logistik. Theoretisch ergibt sich durch die immense Zunahme an Derivaten in den letzten 20 Jahren für die spezifische Ausstattung eines Fahrzeugs die Losgröße 1.

Die Einteilung in funktionale Domänen kann dieses aufwändige Variantenmanagement etwas vereinfachen, da der wahlweise Einbau einzelner Steuergeräte auf Endkundenwunsch möglich ist. „Ein spezifisches Modul kann über mehrere Fahrzeuggenerationen oder Fahrzeugreihen hinweg eingesetzt werden, wenn die zugehörigen Domänengrenzen und die spezifischen Anforderungen klar definiert sind“ (Kunde).

3.1.4 Unterschiede der E/E-Architektur von konventionellen und Elektrofahrzeugen

Heute prägt der modulare Baukasten die E/E-Architektur. Der Einsatz einer Komponente in verschiedenen Fahrzeugen führt zu hohen Skaleneffekten und senkt damit die Kosten. Deshalb ist das Elektrofahrzeug bei traditionellen OEM eine Variante der bestehenden Produktpalette. Die Wirtschaftlichkeit der Elektrovariante wird durch den Einsatz bekannter Bauteile bestehender Zulieferer gesteigert (Anbieter und Kunde). Das bestehende Niederspannungsnetz wird um die, für die Elektro-Variante benötigten, Bauteile und Funktionen ergänzt. Hierzu gehören beispielsweise das seit 30 Jahren etablierte Heizen über Abwärme, das nicht auf das Elektrofahrzeug übertragbar ist, oder das Überprüfen der HV-Sicherheit, weshalb das Niederspannungsnetz nie vollständig abgeschaltet werden darf. „Die Zuordnung zu Domänen wird angepasst, um die bestehende Toolkette, gängige Prozesse und Verantwortungsbereiche beibehalten zu können“ (Forschung).

Das benötigte Hochvolt (HV)- Bordnetz mit seinen neuen Komponenten wird additiv als entkoppeltes Inselnetz ins Fahrzeug eingebaut und hat wenig Einfluss auf die Realisierung des Niederspannungsbordnetzes. Für das Hochspannungsnetz ist kein vergleichbarer Baukastenumfang an Standardkomponenten verfügbar und es werden eventuell neue Zulieferer benötigt. Das Verlegen von Hochspannungskabeln mit großem Querschnitt und die Berücksichtigung der HV-Sicherheit macht das Packaging komplexer. Hier geht der Trend bereits zur Hochintegration des Umrichters in den Antrieb, damit die EMV anfälligen AC Leitungen und die abziehsicheren großen Steckverbinder zwischen Motor und Umrichter eingespart werden

können. Außerdem könnte der DC/DC-Wandler direkt in die HV-Batterie integriert werden, um die Anzahl von sperrigen HV-Kabeln weiter zu vermindern (Forschung).

Möglichkeiten einer Elektrofahrzeug-spezifischen E/E-Architektur

Die Auslegung und Betriebsstrategie der Niederspannungsbatterie kann geändert werden, da sowohl die Anforderung einer Reserve als auch die hohen Ströme zum Starten des Verbrennungsmotors wegfallen. Außerdem ermöglicht der Einsatz von geschwindigkeitsunabhängigen Spannungswandlern zur Versorgung des Niedervoltnetzes völlig neue Betriebsstrategien und Freiheitsgrade. „Während heutige Speicher im Niedervoltsystem zwischen 1,5Wh (12V) und 500Wh (48V) haben, hat ein Elektrofahrzeug 20kWh zur Versorgung der Lasten über DC/DC-Wandler“ (Anbieter). Im Ladezustand steht sogar unbegrenzt Energie zur Verfügung. Allerdings muss während der Fahrt eine Abstimmung mit dem Reichweitenmanagement erfolgen, da die Erreichung des Fahrtziels Priorität hat.

Insgesamt nimmt die Kopplung des Bordnetzes mit dem Antriebsstrang deutlich zu, da nicht mehr nur der Starter und die Sensoren elektrisch versorgt werden. „Die Regelungsarchitektur ist grundlegend anders und erfordert eine größere Vernetzung des Fahrzeugs, da die Hochvoltbatterie im Gegensatz zum Tank teil des Antriebsystems ist“ (Kunde). Weiterhin müssen neue EMV und Temperaturanforderungen durch den Ersatz des Verbrennungsmotors durch das HV-System berücksichtigt werden. Es können neue Architekturen mit anderem Routing oder neue Funktionen wie ein nachhaltiges Energiemanagement integriert werden. Gleichzeitig erhält man aufgrund des Einsatzes zweier unabhängiger Speicher im Elektrofahrzeug bereits ein redundantes System zur Absicherung sicherheitskritischer Funktionen.

3.2 Revolution versus Evolution

Für ein einheitliches Verständnis von Evolution und Disruption wurde zunächst danach gefragt, was vom Experten als Unterschied zwischen einer evolutionären Weiterentwicklung und einem radikalen Technologiebruch verstanden wird. Anhand der Antworten konnten die Experten interessanterweise in zwei Gruppen eingeteilt werden. Zwei Drittel der befragten Experten können als eher revolutionär eingestellt kategorisiert werden. Dies wird darauf zurückgeführt, dass befragte Experten bestimmte Entwicklungen als evolutionär einstufen, die von anderen Experten bereits als Disruption ausgelegt werden. In Tabelle 3.2 werden einige Beispiele hierfür gegeben.

Evolution	Evolution oder Revolution	Revolution
Verkleinerung der Anzahl von Komponenten durch Hochintegration	Domänenleitreechner ins Fahrzeug integrieren	Einsatz von 2 statt wie heute 50 Steuergeräten für gesamtes Fahrzeug
Integration eines neuen Inselnetzes bei Erhalt von bestehenden Teilsystemen innerhalb bestehender Zulieferstruktur eine neue Funktion zu realisieren	Integration einer neuen Spannungslage ins Fahrzeug Neue Funktionspartitionierung	Komplette Substitution von bestehender 12V-Spannung durch neue Spannungslage Neue Systemstruktur ohne Legacy inklusive neuer Zulieferstruktur
Datenbackbone integrieren	neues Kommunikationsprotokoll	Vereinheitlichung der Datenkommunikation

Tabelle 3.2: Vergleich zwischen verschiedenen Aussagen zum Verständnis von Evolution und revolutionärem Technologiebruch

Eigenschaften Evolution	Eigenschaften Revolution
Kostengünstig	Hohe Kosten
Risikoarm	Keine Erfahrungen oder Prozesse vorhanden
Marktkonform, da Zukunft des Marktes nicht bekannt	Muss sich erst am Markt etablieren
Langsamer Fortschritt	Großer Sprung in Technik
Grenzen der Weiterentwicklung möglich	Nicht durch Historie und Konform-Anforderung beschränkt

Tabelle 3.3: Vergleich der verschiedenen Eigenschaften einer evolutionären Weiterentwicklung und eines revolutionären Technologiebruchs

Die evolutionäre Weiterentwicklung hat gegenüber einem disruptiven Technologiebruch verschiedene Vor- und Nachteile, vergleiche Tabelle 3.3 Um größere Technologiesprünge zu meistern, muss ein revolutionärer Bruch erfolgen, da mit evolutionärer Entwicklung langfristig Systemgrenzen erreicht werden. Ein Technologiebruch kann aus wirtschaftlichen Gründen aber nicht ständig durchgeführt werden, weil er mit hohen Kosten und Risiken

verbunden ist. Seine Entwicklung ist zeitaufwändig, Fehler und Knackpunkte sind noch unbekannt, auf bestehende Prozesse kann nicht zurückgegriffen werden, es gibt noch keine Skaleneffekte und die Akzeptanz beim (End-)Kunden muss erst geschaffen werden.

Etwa 90% der Experten geben an, dass die E/E-Architektur im Fahrzeug heute rein evolutionär entwickelt wird, wobei 25% der befragten Experten darauf hinweisen, dass für eine zielführende Entwicklung beides erforderlich ist. Hier besteht folglich Handlungsbedarf.

3.3 Anforderungen und Trends

Im Folgenden sind die von den Experten genannten Anforderungen und Optimierungskriterien heutiger Bordnetze, Herausforderungen zukünftiger Bordnetze und die zu überwindenden Hürden zur Erfüllung der Herausforderungen dargestellt. In Abbildung 3.7 sind verschiedene von den Experten genannte Treiber mit zugehörigen Anforderungen auf Benutzer- und Systemebene abgebildet. Dabei können einzelne Anforderungen Einfluss auf das gesamte System haben, da sie verschiedene Bereiche und Ebenen verbinden.

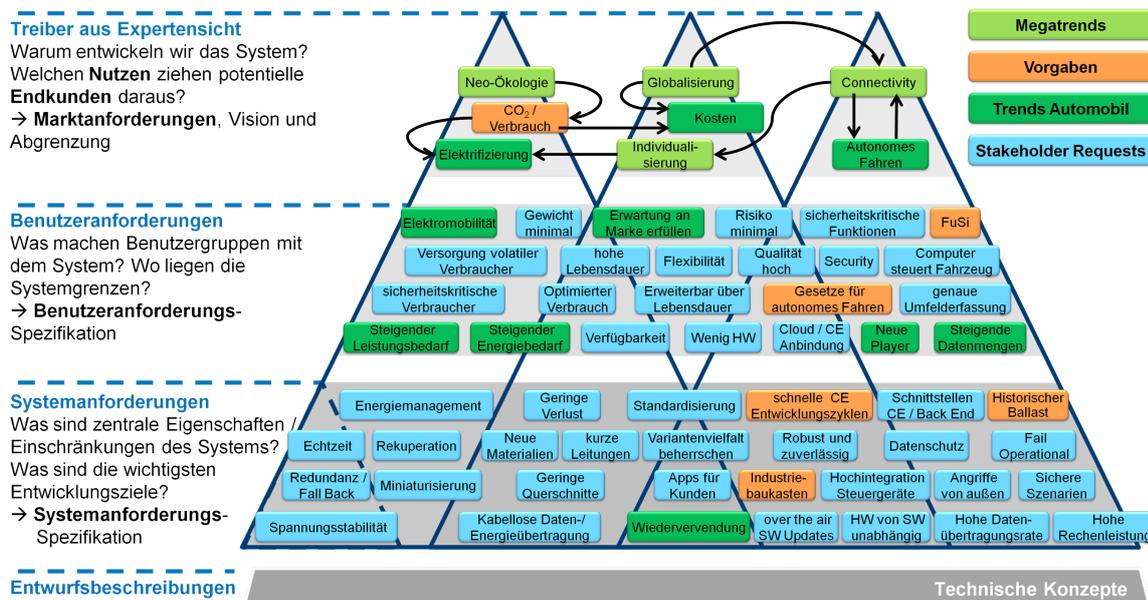


Abbildung 3.7: Anforderungspyramide verschiedener Trends und ihrer Zusammenhänge

Da nicht alle Experten alle Fragen beantworten konnten, ist die Anzahl der im Folgenden ausgewerteten Interviewantworten pro Frage in Tabelle 3.4 dargestellt. Eine vollständige Aufstellung der genannten Anforderungen, Hürden und Optimierungskriterien der befragten Stakeholdergruppen findet sich im Anhang in Kapitel B und C.

Antworten	Anforderungen heute	Anforderungen zukünftig	Herausforder- ungen	Hürden
Forschung	7	6	6	6
Kunde	6	5	6	6
Anbieter	9	7	9	8
Gesamt	22	18	21	20

Tabelle 3.4: Anzahl der zur Erstellung des Anforderungskatalogs bewerteten Expertenantworten der Fragen: Anforderungen heute, Anforderungen zukünftig, Herausforderungen und zugehörige Hürden von E/E-Architekturen.

3.3.1 Allgemeine Anforderungen und Trends

Die Kosten sind zusammen mit dem Gewicht das von den Experten am häufigsten genannte und am höchsten priorisierte Auslegungskriterium heutiger E/E-Architekturen², vergleiche auch Tabelle B.1 „Es muss ein Umdenken der klassischen Annahme, das Bordnetz gibt es gratis dazu, stattfinden“ (Kunde). „Endkunden interessieren sich nur für die Kosten der gewünschten Funktionen, nicht für deren Realisierung“ (Kunde). Deshalb werden die Kosten als einer der treibenden Faktoren betrachtet. Es muss bekannt sein, welche Erwartungen der Endkunde an die Marke hat und für welche Funktionen er somit bereit ist, Geld zu bezahlen. Diese müssen sicher und zuverlässig funktionieren, um den Endkunden zufriedenzustellen, weshalb eine hohe Qualität und Zuverlässigkeit ein weiteres wichtiges Kriterium heutiger E/E-Architekturen ist. „Sonst kommt man schnell in den Bereich des wirtschaftlichen Totalschadens“ (Anbieter). Diese wird allerdings mit der wachsenden „Komplexität durch die hohe Zahl der Derivate, und mit der damit verbundenen Vielzahl an Steuergeräten und Funktionen immer schwieriger zu gewährleisten“ (Kunde). Die Variantenvielfalt im KsK erfordert ein aufwändiges Variantenmanagement, vergleiche Kapitel 3.1.3 Hier muss die Vielfalt in Zukunft beherrschbar werden. Der KsK erschwert auch die Automatisierung der Produktion. Aber selbst bei der heutigen Handfertigung ist es, wegen der verteilten Entwicklung und Produktion, eine „logistische Herausforderung, bei geringer Fehlerhäufigkeit den richtigen Kabelbaum in das richtige Fahrzeug einzubauen“ (Forschung).

Eine Standardanforderung von Anbieter und Kunde ist deshalb eine gute Skalierbarkeit,

²Als wichtiges Optimierungskriterium nannten 77% der Experten Kosten, 65% Gewicht. Als heutige Anforderung nannten 60% der Experten Kosten, 45% Gewicht.

um den Einsatz in verschiedenen Fahrzeugsegmenten und -reihen zu ermöglichen. Das Packaging auf zur Verfügung stehende Bauräume muss möglich sein, weshalb insbesondere die Baugrößen neuer Technologien nicht immer automotive konform sind. Das Packaging berücksichtigt auch die Montierbarkeit bei der Produktion und die spätere Wartbarkeit. Weiterhin gibt es heute kaum Standards für Gerätestecker, Kabelfarben oder Schnittstellen (Anbieter). Diese technische Vielfalt macht das System unnötig komplex. Das Fehlen offener Standards für nicht wettbewerbsentscheidende Hard- und Softwareplattformen wird von einigen Experten als Hürde zur Realisierung zukünftiger E/E-Architekturen gesehen. Die Wertschöpfung ändert sich von der Hardware hin zur Software. Zukünftig werden deshalb neue Standards und Funktionen aus dem Unterhaltungsmarkt einströmen. „Hier könnte die Angst vor der Abhängigkeit von neuen Playern die Entwicklung hemmen“ (Forschung).

Es wird gefordert, dass unabhängig von der historischen Struktur entwickelt wird. „Heute fehlt der Mut bestehendes zu ändern“ (Kunde). Das Wiederverwenden, fast um jeden Preis und das damit verbundene festhalten an bekannten Anforderungen, unabhängig von der Systemausprägung, steigert die Komplexität und führe die Systemarchitektur langfristig ad absurdum. Deshalb wird auch unter anderem das „Fehlen einer Auslegungsmethodik für die Gesamtstruktur“ als Hürde gesehen (Anbieter). Zur Realisierung eines ganzheitlichen Entwicklungsprozesses beispielsweise mittels Systems Engineering muss der „Systemansatz auch gelebt werden“ (Anbieter). „Heute wird oft mit Erfahrung ausgelegt und nicht streng methodisch“ (Anbieter). Ziel des Systems Engineerings ist es, ein ganzheitliches interdisziplinäres Systemverständnis zu entwickeln, um komplexe Produkte verstehen, entwerfen und implementieren zu können. Hierfür muss das System mit seinen Wechselwirkungen erfasst werden. Als Grundlage der Entwicklung dienen dabei die (Kunden-) Anforderungen an das System.

Als größte Hürde zur Realisierung zukünftiger E/E-Architekturen sehen viele Experten auch die heutigen Konzernstrukturen. „Wenn man den Aufbau der E/E-Architektur eines Fahrzeugs analysiert, kennt man die (Unternehmens-) Struktur des zugehörigen OEM“ (Anbieter). „Die heutige Einteilung in Domänen entspringt der Organisationsstruktur des OEMs und ist aus Sicht einer optimalen Funktionspartitionierung unter Berücksichtigung einer hohen Variantenvielfalt nicht immer sinnvoll“ (Kunde). Zur Realisierung neuer vernetzter Funktionen müssen folglich „Mitarbeiter verschiedener Abteilungen miteinander reden, die noch nie kooperiert haben“ (Anbieter). Jedoch ist die benötigte Abstimmung zwischen Abteilungen für die befragten Experten kein Grund zur Beibehaltung der heutigen Struktur. Hier wurde angemerkt, dass die Kommunikation im Unternehmen insgesamt

besser werden muss, da heute zu wenig darüber bekannt wird, welche Probleme und Lösungen andere Mitarbeiter im Unternehmen haben.

Aber nicht nur der Aufbau der Konzerne selbst, sondern auch die heutige Mitarbeiterstruktur kann die Entwicklung zukunftsorientierter Konzepte verzögern oder verhindern. Experten aus den Bereichen Forschung und Anbieter stellen fest, dass die Entwicklung beim Kunden sehr maschinenbaugeprägt ist. Hier wird mehr Verständnis für E/E und IT benötigt, um zukunftsorientierte Konzepte entwickeln zu können. „Mitarbeiter, die jahrelang Fahrzeugentwicklung mit den dazugehörigen Prozessen betrieben haben, sollen von heute auf morgen Entwicklungsprinzipien aus der IT umsetzen. Das funktioniert nicht“ (Kunde). Der Trend zu mehr IT im Fahrzeug wird allerdings dadurch verstärkt, dass die E/E-Architektur über die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs kompatibel mit CE-Produkten sein soll und folglich die Fahrzeugfunktionsentwicklung mit der schnellen Entwicklung im CE-Bereich mithalten muss. Der Standard-Produktentwicklungszyklus im automotiven Umfeld mit über drei Jahren Entwicklungszeit kann dies nicht. Deshalb müssen neue Strukturen geschaffen werden.

Zukünftig muss die FuSi (Safety / ISO 26262) in der Entwicklung noch mehr Anwendung finden. „Heute werden Safety-Anforderungen auf entwickelte Teilsysteme oder Komponenten bezogen angewendet. Dies ist falsch, da die FuSi sich auf Funktionen bezieht“ (Anbieter).

3.3.2 Anforderungen und Trends des Kommunikationsnetzes

Der wachsende Funktionsumfang sowie bestehende und neue Fahrerassistenzsysteme müssen sicher ins Fahrzeug integriert werden können. „Die Betriebssicherheit des Fahrzeugs muss insbesondere auch beim Betrieb von Drive-by-Wire Systemen garantiert sein“ (Kunde), wobei hier die „Integration des autonomen Fahrens³ unter den Gesichtspunkten der funktionalen Sicherheit als Königsdisziplin gilt“ (Forschung). Aber bereits der wachsende Umfang von fortgeschrittenen Fahrerassistenzfunktionen (ADAS, Advanced Driver Assistance Systems) im Fahrzeug und die damit verbundene wachsende Vernetzung, steigert die Möglichkeiten kritischer Systemzustände beim Ausfall einer Leitung oder Komponente. Für solch sicherheitskritische Funktionen ersetzt zukünftig eine Fail-Operational Auslegung die heutige Fail-save oder Fail-silent Lösungen. Die Integration sinnvoller Redundan-

³Hier wird der Begriff des autonomen Fahrens als Synonym zum in [25] definierten vollautomatisierten Fahrens verwendet für Fahrzeuge, die ohne Überwachung des Fahrers vollständig selbstständig die Fahraufgabe ausführen.

zen und Rückfallebenen ist eine mögliche Lösung zur Implementierung solch ausfallsicherer Systeme. Dies betrifft nicht nur die Kommunikation sondern auch die Energieversorgung. Die Integration des autonomen Fahrens gilt als die Herausforderung der Zukunft. „Allerdings fehlen bisher gesetzliche Bedingungen für den Betrieb autonomer Systeme“ (Kunde). Experten des Anbieters sehen eine mögliche Hürde in der Generierung sicherer Szenarien zur Realisierung der Autonomie, da der Fahrer als bisheriger Fall-Back der ADAS-Funktionen wegfällt und der Computer allein auf Basis solch hinterlegten Szenarien Entscheidungen treffen muss. Referenz [25] gibt einen Überblick über bisherige Schritte der Gesetzgebung zum vollautomatisierten Fahren und zeigt eine Roadmap, bis wann autonome Fahrzeuge auf der Straße erwartet werden.

Zur Generierung solch sicherer Umfeldmodelle für autonomes Fahren oder zur Integration neuer Funktionen wird die Vernetzung des Fahrzeugs nach außen („Connectivity“), also zu anderen Fahrzeugen oder der Infrastruktur, deutlich zunehmen. Offen ist hierbei einerseits wer die Back End Strukturen einer solchen Cloud aufbaut und wie diese Cloud gestaltet wird. Andererseits ist die sichere Implementierung solch cloudbasierter Fahrdienste im Fahrzeug selbst eine Herausforderung. Es muss geklärt werden, wie mit fehlenden Datenraten zur Abbildung der vernetzten Funktion oder sogar einer kompletten Unterbrechung der Verbindung mit der Cloud umgegangen werden kann. Weiterhin wird ein wachsendes Verständnis der Automobilindustrie für Security, der Sicherheit, der im Fahrzeug generierten und verwendeten Daten, erforderlich. Das System muss gegen unbefugte Angriffe von außen abgesichert sein. Hier stellen Sicherheitslücken im System eine mögliche Hürde dar. Es muss möglich sein, authentische und verschlüsselte Übertragung auf Basis zuverlässiger Transportprotokolle zu integrieren. Weiterhin ist zu klären, „welche Daten das Fahrzeug herausgeben darf, vielleicht sogar herausgeben muss und wem die Daten gehören“ (Kunde). Diese Datenschutzthemen muss der Gesetzgeber in Angriff nehmen. Wie ein sicheres Netz im Fahrzeug und in Verbindung mit dem Back End gestaltet werden könnte, wird ebenfalls in [25] diskutiert.

Mit der steigenden Vernetzung im Fahrzeug wachsen die zu übertragenden und zu verarbeitenden Datenmengen rasant und damit ändern sich die Anforderungen an das Kommunikationsnetz. Wichtigstes Ziel ist hier eine klare Struktur der E/E Architektur zur Senkung der Systemkomplexität. Weiterhin sollen zukünftige Kommunikationsnetze generisch⁴ und

⁴Ein generischer Aufbau von Komponenten oder Subsystemen ermöglicht einen flexiblen Einsatz über verschiedene Fahrzeugklassen oder -generationen hinweg. Beispielsweise wären generische Softwarebausteine im Gegensatz zu heute unabhängig von der im Fahrzeug verbauten Hardware. Dies ermöglicht eine flexible Systemerweiterung und eine im System frei verteilbare Datenverarbeitung.

flexibel gestaltbar sein. Hierfür muss z.B. die Informationsverarbeitung, unabhängig von der Hardware, frei im System erfolgen können.

Wichtige Kriterien in der Auslegung sind:

- Echtzeitfähigkeit
- Hohe Bandbreite
- Hohe Datenübertragungsrate
- Hohe Übertragungsgeschwindigkeit
- Intelligentes Datenmanagement
- Hohe Rechenleistung

Dabei müssen technische Hürden überwunden werden, um z.B. den heutigen Energieverbrauch großer Rechner weiter zu senken und die Hochintegration auf wenige leistungsfähige Steuergeräte zu ermöglichen. Auch die erforderliche Umsetzung von Software-basierten Geschäftsmodellen durch den OEM könnte die Integration von neuen Softwarearchitekturen mit serviceorientierten Funktionen behindern.

Zukünftige Kommunikations- und Datenverarbeitungsarchitekturen sollen so ausgelegt sein, dass Systemupdates während der gesamten Lebenszeit, am besten über die Luftschnittstelle, und die Installation von kundenspezifischen Software-Funktionen (Apps, Applikationen) möglich sind. Hier gilt laut Forschung die Domänensicht als Hinderungsgrund während der Kunde das Problem sieht, dass das System einerseits Updates zulassen, aber andererseits vor unbefugten Zugriffen geschützt werden muss. Am Ende trägt der OEM die Verantwortung für die Sicherheit des Fahrzeugs.

3.3.3 Anforderungen und Trends des Energieversorgungsnetzes

Das Gewicht ist in den letzten Jahren insbesondere durch die EU-Verordnung zur Verminderung der CO_2 -Emissionen von Personenkraftwagen weiter in den Fokus gerückt⁵. „Das Gewicht des Bordnetzes wurde allerdings bisher kaum optimiert“ (Anbieter). Die Einhaltung der CO_2 -Grenzen selbst wird ebenfalls als zukünftig wichtiger Treiber eingestuft. Hierbei gilt die Optimierung des Kabelbaums zur Verringerung des Verdrahtungsaufwands als Hauptanforderung. Dies betrifft die Anzahl an Stecker, also möglicher Fehlerquellen,

⁵EU-Verordnung zur Verminderung der CO_2 -Emissionen von Personenkraftwagen: Bis 2020 muss der CO_2 -Ausstoß einer Flotte auf durchschnittlich $95 \frac{g}{km}$ gesenkt werden. Ab 2019 werden Strafen von $95 \frac{Euro}{g}$ pro $\frac{gCO_2}{km}$ Überschreitung fällig [26].

Kabelzahl, -länge, -querschnitt und -Material, die nicht nur das Gewicht sondern auch direkt die Kosten des Kabelbaums beeinflussen.

Der Trend zur wachsenden Elektrifizierung heutiger Fahrzeuge wird durch die CO_2 Anforderungen weiter getrieben. Der vermehrte Einsatz von reinen Elektrofahrzeugen wird aber von den Experten als Lösung kritisch gesehen, da sie wegen der heute teuren Speichertechnik nicht wirtschaftlich betrieben werden könnten. Deshalb soll die Integration der Rekuperation in Verbrennungsfahrzeuge und die elektrische Ansteuerung bisher mechanischer oder hydraulischer Komponenten den Verbrauch weiter senken. Allerdings stellt die Zunahme an elektrischen Verbrauchern im Fahrzeug die Energieversorgung vor große Herausforderungen. Sie muss nicht mehr nur elektrische Energie zur Versorgung der Sensoren, Steuergeräte, Aktoren und der Kommunikation unter Berücksichtigung der erlaubten EMV Grenzwerte bereitstellen, sondern auch eine wachsende Zahl transienter Hochleistungsverbraucher versorgen.

Das Problem ist hierbei insbesondere die Stabilisierung der, durch die Lasten erzeugten, Spannungseinbrüche im System und die damit verbundene Sicherstellung der Funktionalität aller elektrischen Komponenten. Ein intelligentes Energiemanagement ist erforderlich, das einen Teilnetzbetrieb ermöglicht, um Spannungseinbrüche zu vermeiden. Dies erfordert allerdings eine schnelle Ansteuerung. „Der heutige CAN mit Übertragungsgeschwindigkeiten größer als $10ms$ kann zur Koordination transienter Lasten nicht eingesetzt werden“ (Anbieter). Außerdem kann mittels der Abschaltung von Zweigen der elektrische Energieverbrauch gesenkt werden. Es muss dabei sichergestellt werden können, dass sicherheitskritische Zweige immer aktiv sind. Hier müssen, wie in Kapitel 3.3.2 beim Kommunikationsnetz dargelegt, Safety und Security Anforderungen umgesetzt werden, um den sicheren Betrieb gewährleisten zu können.

3.3.4 Andere Branchen als Blaupause für die Automobilindustrie

Beim Blick zu anderen Bereichen haben nahezu alle Experten die Entwicklungen im IT Bereich der CE als mögliches Vorbild für die Automobilindustrie gesehen. Einerseits können dort etablierte Standards für automotive Anwendungen angepasst oder übernommen und andererseits bestehende Produkte direkt eingesetzt werden, vergleiche Tabelle 3.5.

Von Anbieter und Kunde wurde die Avionik ebenfalls als mögliche Blaupause genannt. Forschung und Anbieter sehen außerdem die Haustechnik und die Energienetze als mögliches Vorbild für die Energieversorgung im Fahrzeug.

Technik aus CE	Vorteile
Infotainment- und Kommunikations-Systeme	Etablierter Ethernet Standard für Audio und Video in Echtzeit (AVB) anstatt MOST. Robustheit, Nachhaltigkeit und Lebensdauer muss noch an automotive angepasst werden.
Erweiterbarkeit des Systems	Arbeiten mit standardisierter Hardware und Updates über gesamte Lebenszeit sowie kundenspezifischen Apps zur individuellen Gestaltung des Produkts.
Realisierung einer Cloud	Cloud-basierte Betriebskonzepte ermöglichen völlig neue Funktionen im Fahrzeug.
Schnelle Entwicklungszyklen	Einsatz von parallelen Entwicklungsteams mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten
Andere Denkweise	Wie würde ein Smartphone-Hersteller eine E/E-Architektur bauen?
Integration von Produkten	Nutzung der schnellen Innovationszyklen der CE z.B. durch die Integration des Navigationssystems des Handys.

Tabelle 3.5: Vorstellung möglicher Vorteile für die Automobilindustrie durch Übernahme von Technik oder Paradigmen aus der CE

In der Avionik sind Fly-by-Wire und hochautomatisierte Funktionen seit Jahren Standard und ihre Umsetzung könnte als Vorbild für Drive-by-Wire-Systeme dienen. Aber nicht nur große Verkehrsflugzeuge könnten hier Beachtung finden, sondern auch die wachsende Entwicklung von Drohnen und hochautomatisierten Kleinflugzeugen, die ebenfalls Fly-by-Wire-Systeme und Redundanzen zur Sicherstellung der Funktionalität aufweisen. Auch spielt in der Luftfahrt Leichtbau eine sehr große Rolle, weshalb eingesetzte Materialien oder die Methodik des Aufbaus als Beispiel herangezogen werden können. In der „Entwicklung sind die Methoden des Systems Engineering und folglich ganzheitliche Entwicklungsprozesse etabliert“, die langfristig auch Ziel der Automobilindustrie sind (Kunde).

In der Gebäudetechnik werden bereits heute Datenbackbone eingesetzt. Die Vernetzung wächst durch die Zunahme smarter Komponenten. Powerline Kommunikation (PLC), bei der Energie und Daten gleichzeitig übertragen werden, wird in der Haustechnik schon länger eingesetzt. In Kombination mit Power over Ethernet (PoE) könnte hier mittels zweier Leitungen sowohl die Kommunikation als auch die Energieversorgung für den Notfall redundant ausgelegt werden.

Die Industrie kann mit der Realisierung im Anlagenbau bei Energie-, Kommunikations- und Datenverarbeitungsarchitektur als Beispiel dienen oder direkt mit Produkten wie Smart Textiles, Materialeinsatz für Sportgeräte (CFK), bestehenden Standards für Ethernet etc.

3.4 Veränderung des Kommunikationsnetzes

Die meisten befragten Experten gehen davon aus, dass das heutige Kommunikationsnetz im Fahrzeug überarbeitet werden muss, um zukünftigen Anforderungen gerecht zu werden, vergleiche Tabelle 3.6. Die evolutionäre Weiterentwicklung hat, wie in Kapitel 3.1.3 dargelegt, zu einer überfrachteten Systemarchitektur geführt, die eine weitere Vernetzung und Erweiterbarkeit schwierig und teuer gestaltet.

Antworten	Neue IKT erforderlich	Keine neue IKT
Forschung	4	1
Kunde	6	1
Anbieter	9	1
Gesamt	19	3

Tabelle 3.6: Antworten zur Frage, ob zukünftig eine neue IKT Architektur erforderlich ist.

Als einer der wichtigsten Treiber der Veränderung der IKT wird die wachsende Zahl an ADAS Funktionen bis hin zum vollautomatisierten Fahren des Fahrzeugs und die damit verbundene rapide wachsende Datenmenge und Vernetzung innerhalb der E/E-Architektur und zwischen dem Fahrzeug und dem Backend (Connectivity) gesehen, vergleiche Kapitel 3.3. Die zunehmende Anzahl an ADAS lässt außerdem, durch das steigende Kommunikationsaufkommen zwischen den Domänen, deren Grenzen verschwimmen und erschwert somit den Entwurf der E/E-Architektur. „Die bisherige Einteilung mit strikter Bauteiltrennung der Domänen stammt aus der Historie ohne die heute umfangreiche Elektrifizierung und den großen Einsatz von Software im Fahrzeug“ (Anbieter). Der heutige Aufbau erscheint deshalb für die Zukunft nicht mehr sinnvoll, da die Anzahl an domänenübergreifenden Funktionen weiter zunimmt. Beispielsweise wird die Umsetzung der in Kapitel 3.3.2 dargelegten Security Anforderungen, durch die komplexe Vernetzung im Fahrzeug erschwert. Deshalb werden langfristig neue Strukturen im Fahrzeug erforderlich.

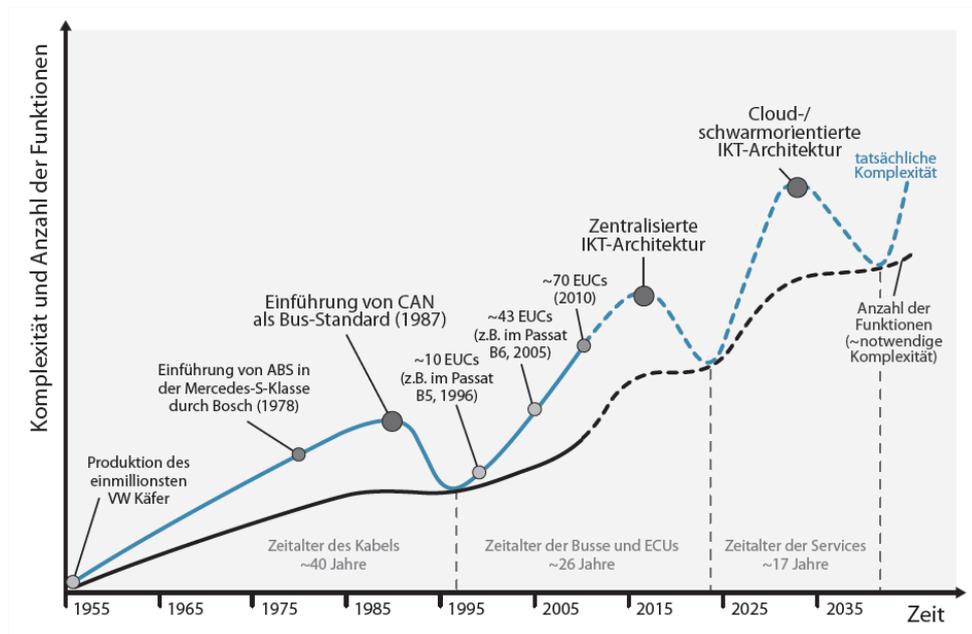


Abbildung 3.8: Vergleich der notwendigen und tatsächlichen Komplexität der E/E Architektur zur Abbildung ihrer Funktionen mit der tatsächlichen (Quelle: [9])

Wie in Kapitel 3.1.2 beschrieben, ist die Integration eines neuen Subnetzes oder Bus-systems ein gängiges Entwicklungsprinzip zur Erfüllung neuer Anforderungen. Die bisher eingesetzten Busse sollen noch um Ethernet mit Point-to-Point Verbindungen über Switches ergänzt werden. Diese Integrationsparadigmen lassen die „Anzahl an Einzelsystemen, Steuergeräten und Gateways und folglich die Systemkomplexität explodieren“ (Kunde). Die Zunahme vernetzter Funktionen stellt auch den weiteren Einsatz eines oder mehrerer zentraler Gateways zur Koordination der Kommunikation zwischen den Subnetzen, sowie die heutige Domänenarchitektur selbst in Frage.

3.4.1 Zukunftsfähigkeit der Domänenstruktur

Bei der im Kommunikationsnetz realisierten Einteilung in Domänen geht der Trend in allen Gruppen klar zur Überarbeitung der heutigen Strukturen, vergleiche Tabelle 3.7. Allerdings denkt eine Mehrheit der Experten, dass die Einteilung in Subsysteme nicht vollständig aufgelöst, sondern nur ihre Ausprägung verändert wird. Das System soll zukünftig mehr funktional und weniger Konzern- und Zulieferstruktur geprägt sein.

Wie in Kapitel 3.1.2 dargelegt, dient die Einteilung in funktionale Domänen der Vereinfachung der verteilten Entwicklung und des aufwändigen Variantenmanagements heutiger

Fahrzeuge. Ihre Überarbeitung wird von vielen als große Herausforderung gesehen. Die strikte Einteilung in Domänen betrifft nicht nur die Abstimmung zwischen OEM und Zulieferer sondern insbesondere auch die Abstimmung innerhalb des OEM. Sie ermöglicht die eindeutige Einteilung von Verantwortlichkeiten im Konzern, frei nach dem Prinzip „Divide and Conquer“, und macht so die Komplexität des Systems für die Entwicklung beherrschbar. Inzwischen handelt es sich um ein sogenanntes Henne Ei Problem. „Wenn man die Domänenstruktur eines Fahrzeugs kennt, weiß man wie der OEM aufgebaut ist“ (Anbieter). Deshalb überrascht die Aussage einiger Experten des Kunden nicht, dass durch die Verknüpfung bestehender Domänen im Entwicklungsprozess keine Zeit eingespart werden könnte, da die daraufhin benötigte Abstimmung getrennter Abteilungen den Entwicklungsprozess noch aufwändiger gestalten würde, als er bereits ist.

Antworten	Domänenstruktur bleibt	Domänenstruktur ändert sich
Forschung	2	4
Kunde	2	5
Anbieter	3	7
Gesamt	7	16

Tabelle 3.7: Antworten zur Frage, ob die bestehende Domänen-Einteilung des Kommunikationsnetzes in Zukunft weiter sinnvoll ist.

Als großer Vorteil der Domänenstruktur wird von der Mehrheit der Experten die Klassifizierung der Komponenten anhand ihrer abweichenden Sicherheitsanforderungen gesehen. So dürfen manche Lasten wie Lenkung, Bremse und Chassis nicht abgeschaltet werden und müssen sehr schnell ansprechbar sein. Allerdings erschwert die bestehende Vernetzung der Domänen die Erfüllung von Safety und Security Anforderungen bei der Auslegung sicherheitskritischer Funktionen. Deshalb muss sich einerseits die Topologie des Kommunikationsnetzes grundsätzlich verändern und den neuen Gegebenheiten anpassen. Andererseits werden Funktionen oder Komponenten weiterhin in verschiedene Bereiche klassifiziert.

„Das Potential von Elektrofahrzeugen kann nur durch die Fusion heute getrennter Domänen gehoben werden. Die intelligente Vernetzung von Antrieb, Bremse und Chassis wird für den sinnvollen Einsatz der Rekuperation benötigt. Das heißt der Antrieb umfasst nicht mehr nur den Motor, sondern es handelt sich vielmehr um eine Energieeinheit“ (Kunde). Die Bereiche Fahrwerk und Antriebsstrang beinhalten hierbei das eigentliche Know-How eines OEM. Deshalb wird erwartet, dass diese als eigenes Subnetz bestehen bleiben.

Bei einer Neueinteilung der Subsysteme könnten verschiedene Kriterien angewendet werden:

- Anhand abweichender Sicherheitsanforderungen
- Anhand abweichender Verfügbarkeitsanforderungen
- Anhand benötigter Bandbreite und Rechenleistung
- Anhand des benötigten Entwicklungsaufwands
- Anhand des benötigten Absicherungsaufwands
- Anhand noch nicht bekannter oder neuer Anforderungen

3.4.2 Ausprägung einer neuen IKT-Architektur

Die in Kapitel 3.3.2 dargelegten Anforderungen und Trends im Kommunikationsnetz zeigen, dass die Vernetzung innerhalb und außerhalb des Fahrzeugs weiter steigen wird. Damit verbunden nimmt die zu übertragende und zu verarbeitende Datenmenge weiter zu. Hierfür benötigte Datenraten können von klassischen Bussystemen wie dem CAN nicht mehr erbracht werden. „Auch bei der Entwicklung hochdynamischer Fahrerassistenzfunktionen mit hohem Rechenleistungsbedarf ist die heutige Busstruktur der Engpass, da die Funktionen nicht frei im System verschoben werden können, ohne die Busstruktur anzupassen“ (Anbieter). Durch die Zusammenlegung heutiger Subsysteme mit vielen Schnittstellen, könnten systemspezifische Signale sinnvoll kombiniert werden. Beispielsweise müssen zur Umfelderkennung verschiedene Sensordaten zeitsynchron fusioniert werden, um ein genaues Abbild generieren zu können. In [7] wird beispielsweise zur Erstellung eines Umfeldmodells eine neue Domäne zur Bündelung der Sensoren vorgeschlagen. Weiterhin kann die Einbindung von Navigationsdaten in die Hybridansteuerung einen energieoptimalen Betrieb des Fahrzeugs ermöglichen und folglich eine deutliche Senkung des Verbrauchs.

Die Experten erwarten, dass zur Verarbeitung der wachsenden Datenmenge und Vernetzung die Vielzahl von Steuergeräten durch leistungsstarke Leitrechner und Software ersetzt werden. „Allerdings ist die Architektur mit verteilten Funktionen und implementiertem Datenaustausch zwischen den Systemen einfacher zu applizieren als ein Zentralrechner. Eine zentrale Rechenstruktur würde hohe Rechenleistungen erfordern und damit deutlich mehr Kosten erzeugen“ (Kunde).

Ein evolutionärer Schritt ist die Einführung von Domänenleitrechnern, die sowohl für die

Datenverarbeitung innerhalb ihrer Domänen als auch für domänenübergreifende Funktionen und Kommunikation zuständig sind. Dies ermöglicht das Zusammenfassen von bisher getrennten Funktionen und führt zu einer Aufweichung der strikten Trennung in Domänen auf Bauteilebene. Die Platzierung dieser Leitrechner in geometrisch sinnvollen Bauräumen im Fahrzeug könnte den Umfang des Kabelsatzes verkleinern und zur geometrischen Optimierung der Gesamtstruktur beitragen (Kunde). „Standardisierte, frei programmierbare Steuergeräte setzen den Baukasten Gedanken um und ermöglichen eine freie Einteilung der Topologie“ (Kunde).

Diese Hochleistungsrechner kommunizieren statt mit der heutigen Gateway Struktur über ein Backbone mit sicherem, echtzeitfähigen Kommunikationsprotokoll sowie hoher Datenrate zu geringen Kosten. Insbesondere zeitkritische Anwendungen wie das Airbag-Crash-Signal erfordern eine möglichst latenzfreie Datenübertragung, weshalb hier heute noch Stichleitungen eingesetzt werden. Es wird erwartet, dass auch solche Signale zukünftig über das Backbone gesendet werden können.

Schließlich wird angenommen, dass zukünftige IKT-Architekturen Systemupdates und die Erweiterbarkeit um neue Funktionen über die gesamte Lebensdauer ermöglichen, ohne die Integration weiterer Hardware oder Kabel zu erfordern, vergleiche auch [6]. Hier muss die Entkopplung von Funktionen zur physischen Infrastruktur erfolgen, um die IKT im Fahrzeug handhabbar gestalten zu können. „Eine schlechte Struktur macht das System heute komplizierter als notwendig“ (Anbieter). Zur Nutzung der schnellen Innovationszyklen der CE-Branche müssen deren Produkte wie das Handy einfach in das Fahrzeugsystem eingebunden werden können. Um die Zahl der zu verlegenden Kabel zu verringern, könnten Sensoren auch mittels WLAN oder Funkstrecken ihre Signale ins System übertragen.

Einige Experten aus den Bereichen Forschung und Kunde sehen allerdings keinen Grund, dass die im Fahrzeug realisierte IKT in Naher Zukunft in Frage gestellt wird. Sie würde zur Erfüllung heutiger Anforderungen vollkommen ausreichen. Allerdings sehen auch sie die Schwierigkeit, Safety und Security Anforderungen im Fahrzeug mit der heutigen Struktur sinnvoll darzustellen.

Ethernet im Fahrzeug

Für jedes Netzwerk gilt der Grundsatz, dass es ein Optimum bezüglich der benötigten Bandbreite, Kosten, Robustheit, Skalierbarkeit und Möglichkeiten zur Realisierung des Datenschutzes gibt. Für die Realisierung des Backbones wird erwartet, dass sich Ethernet als neue Vernetzungstechnik mit Switched-Networks mit Peer-to-Peer-Verbindungen

etabliert. Ethernet hat hierbei technisch mehrere Vorteile gegenüber in der Automobiltechnik etablierten Bussystemen. Ethernet bietet die Möglichkeit zur robusten, hervorragend skalierbaren Vernetzung, da es die synergetische Integration verschiedenster Klassen von Datenströmen auf einem Medium ermöglicht. Es liefert hohe Bandbreiten und Übertragungsgeschwindigkeiten. Wahlweise kann Ethernet auch mit Echtzeit realisiert werden. Das heißt, man kann den Standard flexibel an den individuellen Bedarf des gewünschten Einsatzgebiets anpassen. Die Gestaltung von Funktionen ist von der Hardware entkoppelbar und ermöglicht eine geometrische Optimierung der Architektur. Dies kann weiterhin durch den Einsatz von PoE verstärkt werden, da keine zusätzlichen Versorgungskabel beispielsweise für Sensoren benötigt werden.

Weiterhin handelt es sich bei Ethernet um ein bestehendes Massenprodukt. Heute sind bereits weltweit Standards für das Ethernetprotokoll vorhanden. Hier kann die Automobilbranche Innovationen und das Know-How der CE-Branche und der Industrie nutzen. Beispielsweise kann das Protokoll für Echtzeitfähigkeit für den automotiv Einsatz angepasst werden, anstatt es von Grund auf neu entwickeln zu müssen.

Die hohe Bandbreite von Ethernet im Vergleich zu etablierten Bussen ist zur Realisierung mancher Funktionen wichtiger als die dadurch entstehenden Mehrkosten. Hier muss „Machbarkeit gegenüber Kosten abgewogen werden“ (Anbieter). Deshalb wird Ethernet heute in Bereichen eingesetzt, in denen hohe Übertragungsgeschwindigkeiten oder eine hohe Bandbreite unerlässlich sind. Beispielsweise könnte die Anbindung von Kamera-, Radar- oder Lidarsystemen zur Umfelderkennung über Ethernet erfolgen. Sensordatenfusion könnte ebenfalls mit der Hilfe des Ethernetprotokolls realisiert werden.

Laut den befragten Experten wird Ethernet Twisted Pair langfristig den MOST-Bus ersetzen, da es sowohl günstiger als auch besser sei. Ethernet bietet eine größere Bandbreite und ist in der Produktion einfacher zu handhaben. Das MOST-Protokoll wird deshalb, den Experten zufolge, bereits nicht mehr weiterentwickelt. Auch der Ersatz von FlexRay wird als möglich gesehen. Hierfür muss mit Ethernet sicherheitskritische und deterministische Kommunikation, Echtzeit, hohe Verfügbarkeit sowie Redundanz der Kommunikation zur Erfüllung der Safety-Anforderungen realisiert werden können. Die garantierte Zykluszeit sollte vergleichbar oder geringer sein als bei FlexRay. Heute haben noch nicht alle OEMs FlexRay im Einsatz, weshalb einige, laut Experten, direkt auf Ethernet umstellen werden. Experten des Anbieters haben dies noch deutlicher zum Ausdruck gebracht, indem sie darlegten, dass bei FlexRay Maschinenbauer versucht haben, ein Busprotokoll zu entwickeln, weshalb hier der Trend klar zum Ethernet-Protokoll gehen wird. Dagegen sehen Vertreter des Kunden keine Konkurrenz zwischen FlexRay und Ethernet, da sie nicht glauben, dass

es mit Ethernet möglich sei, die benötigten Sicherheitsebenen abzubilden. CAN soll weiterhin als etablierter und günstiger Standard z.B. im Antrieb eingesetzt werden.

Langfristig wird von den meisten Experten erwartet, dass parallel zu Ethernet nur noch CAN und CAN fd, abhängig von den erforderlichen Datenübertragungsraten, eingesetzt werden. Dies würde allerdings eine umfangreiche Überarbeitung des heutigen Aufbaus erfordern. Der Einsatz von LIN als Subnetz wird noch weiter zunehmen, da mehr und mehr intelligente Sensoren in die Kommunikationsinfrastruktur integriert werden.

Zur Darstellung einfacher Redundanzen der Energieversorgung und Kommunikation für den Notbetrieb sicherheitskritischer Funktionen wäre es auch denkbar, PoE mit PLC zu kombinieren. So erfolgt im Fehlerfall der Energieverteilung die Versorgung kritischer Knoten über die Ethernet-Verkabelung. Im Falle eines Fehlers im Kommunikationsnetz kann die Kommunikation mit sicherheitsrelevanten Komponenten mittels PLC aufrechterhalten werden.

3.5 Veränderung des Energieversorgungsnetzes

In den letzten Jahren hat die Anzahl der elektrischen Verbraucher im Fahrzeug deutlich zugenommen und damit die elektrische Energie- und Leistungsaufnahme. Einerseits ist der Zuwachs elektrischer Funktionen im Fahrzeug insbesondere im Hinblick auf den Komfort der Insassen ein Treiber dieser Elektrifizierung. Andererseits ergeben sich durch die Elektrifizierung mechanischer und hydraulischer Systeme mehr Freiheitsgrade im Betrieb und somit auch Möglichkeiten zur Energieeinsparung und damit verbundenen Erfüllung der gesetzlich geforderten Verminderung des CO_2 -Ausstoßes.

Das 12V Netz ist bereits im Normalbetrieb extremen Spannungsschwankungen unterworfen, wie zum Beispiel dem Einbruch bis auf 6V beim Kaltstart, 12V bei Stopp des Motors sowie 14V mit Störspitzen während der Fahrt. Weiterhin ist die Spannungsverteilung im Fahrzeug nicht gleich, da das Verwenden der Karosserie als Masseleiter entlang von Leitungen zu Potentialdifferenzen führt. Deshalb stößt die zur Energieversorgung verwendete Kombination aus Generator und Batterie bei der zusätzlichen Versorgung transienter Hochleistungsverbraucher an ihre Grenzen. Infolgedessen wird heute bereits ein sogenanntes extended 12V-System eingesetzt. Dieses kann, durch den Einsatz von zwei Speichern im Fahrzeug, die Spannung trotz transienter Lasten innerhalb der zulässigen Grenzwerte halten.

Antworten	Energieversorgung unabhängig von IKT	Neue Energieversor- gung notwendig	Keine neue Energie- versorgung
Forschung	3	4	0
Kunde	3	4	0
Anbieter	9	3	3
Gesamt	15	11	3

Tabelle 3.8: Antworten zur Frage, ob die Veränderung der IKT Architektur Auswirkungen auf das Energieversorgungsnetz haben wird.

Laut Experten hängt der Aufbau der Energieversorgung rein von der Anzahl und Art an elektrischen Verbrauchern ab. Die Ausprägung wird sich abhängig von neuen Anforderungen und Freiheitsgraden im Entwurf parallel zur IKT, aber unabhängig von dieser, ändern. Die heutige Kopplung von Energieversorgungs- und das Kommunikationsnetz besteht darin, dass das Energienetz die IKT mit elektrischer Energie versorgt, während die IKT bei der Implementierung eines intelligenten Energiemanagements Lasten und Teilsysteme steuert. „Die genaue Zuordnung der Lasten ist egal, solange nur alle Lasten und Komponenten steuerbar sind, um eine Spannungsstabilisierung zu realisieren“ (Anbieter). Dabei muss immer bekannt sein, wann, welche Systeme abgeschaltet werden dürfen und sind. Der Kabelbaum bringt das Energie- und Kommunikationsnetz zusammen.

3.5.1 Veränderung der Spannungslagen

Laut den interviewten Experten geht der Trend klar zum Mehrspannungsbordnetz. Die Diversifizierung der Spannungsebenen im Fahrzeug ermöglicht eine optimale, ihrem spezifischen Verhalten entsprechende Versorgung der Komponenten. Heute werden bereits für Einzelsysteme „energetische Balkone“ mit einer höheren Spannung zu Hilfe genommen, um die gewünschte Funktionalität zu gewährleisten (Forschung). Beispielsweise kann mit der elektrischen Lenkkraftunterstützung auf 12V-Ebene kein hochdynamisches Lenkverhalten garantiert werden. Dies könnte zukünftig auf einer höheren genormten Spannungsebene realisiert werden, um der Ausuferung des Gesamtsystems und der damit verbundenen wachsenden Komplexität entgegenzuwirken.

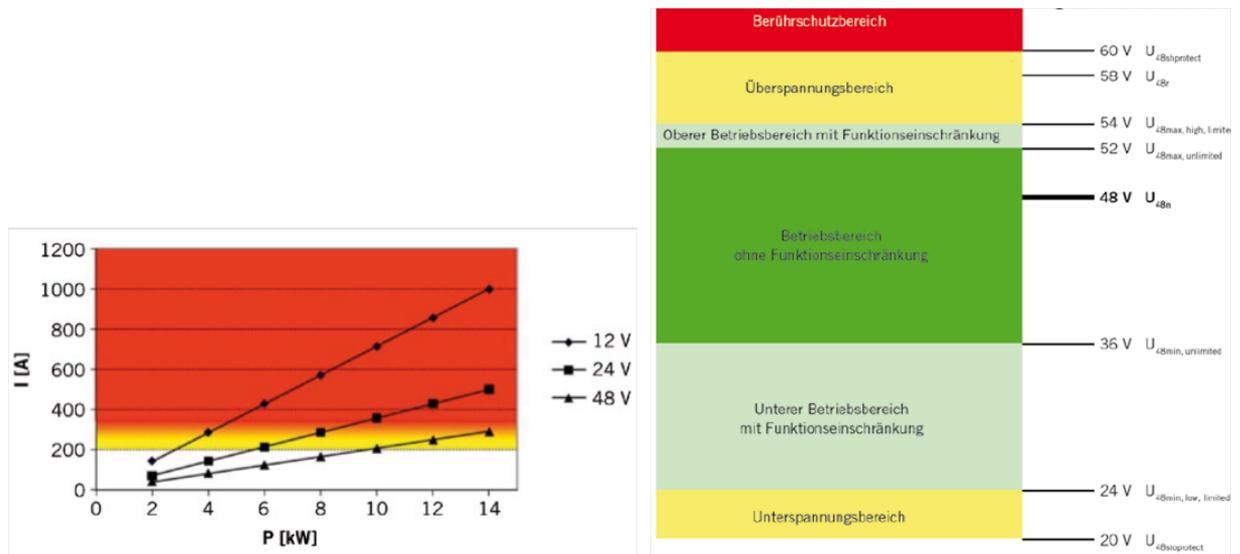
Eine höhere Spannung ermöglicht die Übertragung mit geringerem Strom, vergleiche Abbildung 3.9. Dies führt zu geringeren Verlusten, Spannungspeaks können einfacher ausgeglichen werden und bei gleicher zu übertragender Leistung kann der Leitungsquerschnitt

und somit die verbaute Kupfermenge verringert werden. Dies führt zu geringeren Kosten, weniger Gewicht und folglich zu einem geringeren Verbrauch und damit verbundenen CO_2 -Ausstoß. Die Normung einer solchen Spannungsebene kann über den OEM und Fahrzeugübergreifenden Einsatz von Komponenten Skaleneffekte erzielen.

Das parallel zur allgemeinen 12V-Spannungsebene realisierte HV-Insel-Netz für die elektrische Traktion in Elektro- und Hybridfahrzeugen ist bisher allerdings nicht auf ein einheitliches Spannungsniveau genormt. Stattdessen variiert die Spannung je nach System zwischen 100V und 800V. Dies macht es schwer, Komponenten für alle Systeme zu entwickeln und auszulegen. Den Experten zufolge wird die HV-Ebene zur Realisierung der elektrischen Traktion auch langfristig parallel zu einem Niederspannungsnetz im Fahrzeug Bestand haben. Problem dieser HV-Ebene ist allerdings, dass Leitungen und Stecker berührungs- und abziehsicher gestaltet werden müssen, vergleiche ECE R 100. Bei bestimmten Komponenten, wie der geplanten neuen Frontscheibenheizung, ist eine solche Gestaltung laut Experten aber nicht möglich, obwohl hohe Ströme zur Deckung des Energieverbrauchs benötigt werden. Deshalb soll die Integration einer additiven 48V-Spannungsebene zur Deckung des wachsenden Energieverbrauchs und zur Versorgung von Hochleistungsverbrauchern parallel zum heutigen konventionellen 12V-Bordnetz Abhilfe schaffen, vergleiche Abbildung 3.9. Einige Experten haben ausgeführt, dass ein Spannungsniveau von 48V zur Deckung des wachsenden Leistungsbedarfs eigentlich nicht ausreicht, aber 48V sei das höchste mögliche Spannungsniveau, das unter die Berührungsschutzgrenze von 60V fällt. Neue Anforderungen an Absicherung und Diagnose von Mehrspannungsnetzen können ebenfalls eine Anpassung der Energieversorgungstopologie nach sich ziehen.

Antworten	Eine Spannungsebene...			Mehrere Spannungsebenen...			
	Ja	Nur 12V	Nur 48V	Ja	auch 12V	auch 48V	auch HV
Forschung	2	1	1	5	5	4	2
Kunde	0	0	0	5	5	4	3
Anbieter	1	1	0	11	11	11	5
Gesamt	3	2	1	21	21	19	10

Tabelle 3.9: Antworten zur Frage, ob 12V zukünftig weiterhin die allgemeine Spannungslage im Fahrzeug sein wird.



(a) Strom für verschiedene Betriebsspannungen (b) Definition der statischen Spannungsbereiche des 48V-Systems

Abbildung 3.9: Zur Abbildung der gewünschten Leistung benötigter Strom bei verschiedenen Betriebsspannungen und die Definition der statischen Spannungsbereiche des neuen 48V-Systems (Quelle: [27]).

Die umfangreiche Elektrifizierung heutiger Fahrzeuge ist jedoch nicht nur ein Grund für eine neue höhere Spannungsebene, sondern auch gleichzeitig ein Argument dagegen. Während für das bisherige 12V-System viele billige Komponenten mit geringem Verbrauch fertig entwickelt und auf dem Markt verfügbar sind, würde eine vollständige Umstellung auf 48V die Neuentwicklung dieser Komponenten erfordern. Deshalb sei allein die Einführung einer solchen Spannungsebene mit hohen Kosten verbunden. Daher ist sie bisher am Markteintritt gescheitert. Kein OEM oder OES wollte als Verantwortlicher die Investition auf sich nehmen, um als erster in den Markt einzutreten.

Heute haben sich verschiedene OEMs geeinigt, die Entwicklungskosten zu teilen und sich gemeinsam für die Entwicklung von 48V einzusetzen. In [27] wird beispielsweise die gemeinsam erarbeitete Spezifikation einer 48V Spannungsebene vorgestellt, vergleiche Abbildung 3.9, mit der erarbeiteten Normung LV148. „2020 werden etwa 25 Millionen Serienfahrzeuge mit einem additiven 48V System fahren“ (Anbieter). Die Erwartung ist, dass nach erfolgreicher Einführung einer höheren Niederspannungsebene alle OEM und TIER nachziehen und Komponenten sowie dynamische Funktionen mit kurzzeitig hohem Leistungsverbrauch

für die höhere Spannungsebene entwickeln.

Hierzu gehören beispielsweise

- Turbolader,
- Wankstabilisierung,
- Heizung,
- Klimatisierung,
- Frontscheibenheizung,
- elektrische Lenkung,
- elektrische Bremse.

Aufgrund des hohen Entwicklungsaufwands wird das 48V-Netz zunächst evolutionär als ergänzendes Inselnetz ins Fahrzeug integriert. Langfristig wird erwartet, dass Komponenten nur auf einer Spannungsebene zu finden sein werden, da die erforderlichen Stückzahlen zum Erreichen der heutigen Preisstruktur sonst nicht erreicht werden können. Auf lange Sicht könnte das 12V-Netz vollständig entfallen.

Positiv an der angestrebten Realisierung eines 48V-Insel-Netzes parallel zur bestehenden 12V-Ebene wäre, dass durch die Stabilisierung der jeweiligen Spannungen mittels Speichern in beiden Niederspannungsnetzen, automatisch ein redundantes Energieversorgungssystem für die Versorgung sicherheitskritischer Anwendungen entsteht. Nicht nur die Komponenten können ihren Anforderungen entsprechend auf die beiden Netze aufgeteilt und optimal versorgt werden, sondern auch die eingesetzten Speicher können passend zu den unterschiedlichen Anforderungen der beiden Netze ausgesucht werden. Zur Absicherung müssen die beiden Niederspannungsnetze miteinander gekoppelt werden, damit sie sich im Notfall gegenseitig stützen können. Im Verbrennungsfahrzeug kann dies mittels eines zusätzlich zu integrierenden DC/DC-Wandlers realisiert werden, während bei „Elektrofahrzeugen mit einem DC/DC-Wandler zwischen der HV- und Niedervoltebene kein großer Hardware Aufwand nötig ist, um sowohl 12V als auch 48V innerhalb eines Wandlers zu realisieren“ (Forschung). Es ist auch denkbar, dass im „Elektrofahrzeug 48V rein mittels DC/DC-Wandler generiert wird, da mit der HV-Batterie bereits ein zweiter Speicher im Fahrzeug verbaut ist“ (Anbieter).

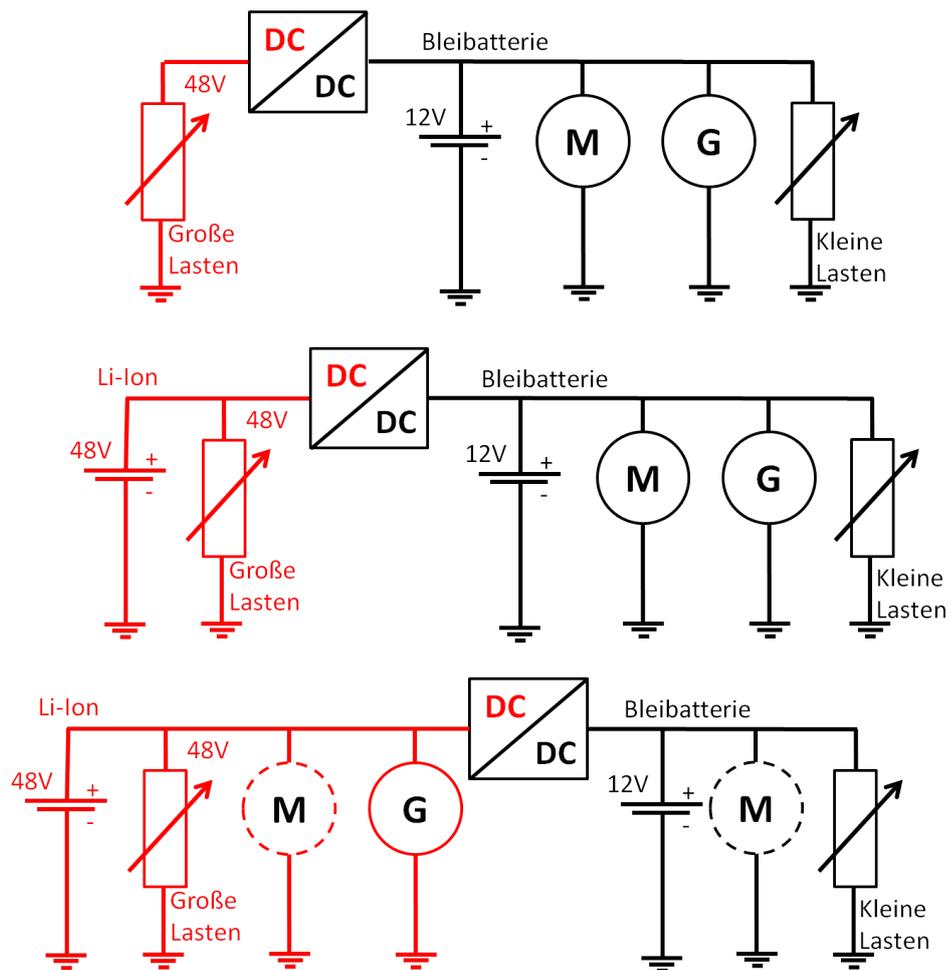


Abbildung 3.10: Mögliche Gestaltung der Aufgabenverteilung zwischen 12V und 48V abhängig vom Anschluss der Komponenten. Es ist sowohl denkbar 48V rein mittels DC/DC-Wandler zu erzeugen, als auch die Implementierung zweier Batterien oder den Starter und Generator auf die 48V Seite zu verschieben, vergleiche [28].

Bei Elektrofahrzeugen ist eine 48V-Ebene nicht zwingend erforderlich, da die Realisierung der Rekuperation, die nur bei höheren Spannungen energetisch sinnvoll abgebildet werden kann, auf der HV-Ebene erfolgt. Auch etwaige Hochleistungsverbraucher könnten auf der HV-Seite realisiert werden. Wegen des benötigten Variantenmanagements und den geringeren Skaleneffekten ist dies allerdings eher unwahrscheinlich.

Heutige 48V-Generatoren erreichen bereits 15kW . Da für die Rekuperation in Verbrennungsfahrzeugen elektrische Leistungen von $15\text{-}20\text{kW}$ realisiert werden müssen, könnte 48V hierbei sogar ein interessanter Ersatz zur heutigen HV-Ebene sein.

Diversifizierung der Spannungen im Fahrzeug

Der Fortschritt der Halbleiter im Bereich der DC/DC-Wandler macht es immer einfacher, kostengünstig die benötigte(n) Spannung(en) lokal zu generieren. Heute werden bereits komponentenintern kleinere Spannungen erzeugt, wie z.B. 3,5V in Steuergeräten. Dies könnte langfristig eine Lösung für alle elektrischen Komponenten im Fahrzeug darstellen. Jede Komponente könnte mit Hilfe eines internen DC/DC-Wandlers eine, für sie passende Spannungsebene erzeugen und stabilisieren. Nach außen wäre sie mit einem Energieverbindungsstecker an die allgemeingültige Spannungsebene zur Verteilung der elektrischen Energie im Fahrzeug angeschlossen. Die Übertragung im Fahrzeug könnte damit analog zur heutigen Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) im elektrischen Versorgungsnetz gestaltet werden. Für große Energieübertragung wird eine hohe Spannung gewählt und lokal mittels eingesetzter effektiver Spannungswandler nach Bedarf herunter transformiert.

3.5.2 Veränderung der Speichertechnik

Im Gegensatz zur Spannungsebene konnte bei der Anzahl eingesetzter Speicher durch die befragten Experten kein klarer Trend ermittelt werden. Sowohl die heute realisierte Architektur mit einem zentralen Speicher, unter anderem wegen den hohen Kosten heutiger Speichertechnik, als auch der Einsatz von zwei oder mehr verteilten Speichern im Fahrzeug fand bei allen drei Expertengruppen Zuspruch.

Antworten	zentraler Speicher	verteilte Speicher	Weiß nicht
Forschung	4	2	0
Kunde	3	1	3
Anbieter	3	5	1
Gesamt	10	8	4

Tabelle 3.10: Antworten zur Frage, ob zukünftig weiterhin ein zentraler Speicher zur Absicherung der Funktionen im Fahrzeug eingesetzt wird.

Ein Problem beim Einsatz mehrerer Speicher ist das anspruchsvolle Packaging. Heutige Speicher sind groß, schwer und müssen so platziert werden, dass sie einfach zu warten und zu tauschen sind. Bei Unfällen und Reparaturen muss das System spannungsfrei geschaltet werden und sie dürfen aus Sicherheitsgründen nicht im Crashbereich platziert werden.

Der Einsatz von zwei oder mehr Speichern erfordert weiterhin ein Energiemanagement, das die verschiedenen Netze und Speicher untereinander abstimmt. Die Energieverteilung vieler Speicher zu koordinieren ist schwierig und lässt die Komplexität unnötig steigen. „Heute ist es bereits bei der Integration einer Starter- und einer Versorger-Batterie problematisch, beide mit Hilfe des Generators mit genügend Energie zu versorgen“ (Kunde). Deshalb muss immer klar sein, wer wann an wen Energie abgibt. Der Einsatz von mehreren Speichern kommt aus diesem Grund für viele Experten nur zur Erfüllung von Sicherheitsanforderungen in Frage, die eine redundante Energieversorgung erfordern. Laut Anbieter ist hier der Leidensdruck zur Umsetzung eines Mehrspeichersystems nicht groß genug, da dies mit heutiger Speichertechnik noch mehr Nach- als Vorteile aufweist. Kosten sind auch hier das entscheidende Kriterium. „Wenn Batterien günstig, klein und leicht sind, ist der dezentrale Einsatz denkbar“ (Anbieter).

Andere Speichertechnik für Elektrofahrzeuge

Experten der Forschung und des Kunden haben dargelegt, dass für Elektrofahrzeuge neue Anforderungen an einen additiven Niedervoltspeicher abgeleitet werden können, um das Niedervoltssystem optimal zu gestalten. „Die Auslegung des heute eingesetzten 12V-Bleispeichers orientiert sich an der Ruhestromaufnahme im geparkten Zustand“ (Kunde). Einerseits kann das Stand-By Verhalten bei Elektrofahrzeugen von der HV-Batterie abgedeckt werden. Andererseits ist für die Glättung der Spannung bei Spitzenlasten die Größe der heute eingesetzten 12V-Pufferbatterie nicht zwingend erforderlich. Deshalb kann der 12V-Speicher bei E-Fahrzeugen kleiner ausfallen (Forschung). Weiterhin entfallen Verbrennungsmotorstarts mit großen Spannungseinbrüchen auf der 12V-Seite.

Wenn zukünftige DC/DC-Wandler hochdynamisch auf den funktionsabhängigen Energieverbrauch im Niedervoltnetz reagieren können, ist eine Realisierung des Niedervoltnetzes im Elektrofahrzeug ohne eigenen Speicher denkbar, allerdings muss eine lange Standzeit des Fahrzeugs überbrückt werden können. Damit ein Start möglich ist, muss das Batteriemanagementsystem (BMS) der HV-Batterie von dieser selbst versorgt werden, beispielsweise mittels eines internen DC/DC-Wandlers, der extrem effizient und hochverfügbar sein muss (Kunde).

Einsatz von zwei oder mehr Speichern

Das extended 12V-System mit zwei Speichern ist in heutigen Oberklasse-Fahrzeugen notwendig, um sowohl Spannungsstabilität als auch Startfähigkeit garantieren zu können. „Die

Verwendung zweier Speicher ist funktionsgetrieben, da der 12V-Speicher inzwischen primär dazu dient, den Generator bei der Versorgung aller gewünschten Komfortfunktionen zu unterstützen“ (Kunde). Zusätzliche Kosten des zweiten Speichers werden zur Garantie der Funktionalität von Hochleistungsverbrauchern oder dynamischen Funktionen in Kauf genommen. „Er wird auch gezielt zur Optimierung der Gewichtsverteilung im Fahrzeug eingesetzt.“ (Kunde).

„Die heute in der Serie vorwiegend eingesetzte Bleibatterie kann die an sie gestellten Anforderungen nicht mehr zufriedenstellend erfüllen, da sie nicht zyklentfest ist und sich somit weder für die Rekuperation noch für Start-Stopp-Funktionen eignet“ (Kunde). Zur besseren Anpassung an spezifische Anforderungen neuer Komponenten und Funktionen geht der Trend, parallel zur in Kapitel 3.5.1 beschriebenen Entwicklung zweier Spannungsebenen, zum Einsatz zweier Speicher mit verschiedenen Aufgabenbereichen. Eine Möglichkeit zur Steigerung der Verfügbarkeit von Start-Stopp-Funktionen ist der Einsatz eines Lithium-Ionen-Speichers. Allerdings eignen sich diese nicht zur Bereitstellung der hohen Ströme für das Starten des Verbrennungsmotors bei tiefen Temperaturen. Spätestens bei der Realisierung einer ausfallsicheren Energieversorgung zur Implementierung einer Fail-Operational Auslegung sicherheitskritischer Funktionen wird der Einsatz von mindestens zwei Speichern notwendig. Bereits die Implementierung des Segelbetriebs bei Verbrennungsfahrzeugen gilt als sicherheitskritisch, da der Motor während der Fahrt ausgeschaltet wird (Kunde). Folglich entfällt die zur 12V-Batterie alternative elektrische Versorgung.

Bei der Integration einer weiteren Niederspannungsebene bietet sich der Einsatz eines weiteren Speichers zur Stabilisierung ihrer Spannung an. Unabhängig davon, was für ein Speicher hier eingesetzt wird, z.B. eine Batterie oder ein Super Cap, ergibt sich automatisch eine redundante Energieversorgung. Alternativ können auch beispielsweise, bei der in Kapitel 3.5.1 dargelegten Möglichkeit eines Übertragungsnetzes mit 48V und lokalen 12V-Versorgungsnetzen, „in den 12V-Netzen zwei Speicher platziert werden. Falls im Motorraum zur geometrischen Optimierung ebenfalls eine Batterie platziert werden soll, erhält man maximal drei verteilte 12V-Batterien“ (Anbieter). Die geometrische Aufteilung der Speicher im Fahrzeug würde weiterhin die bestehenden Schwierigkeiten des Spannungsabfalls über lange Leitungen lösen.

Sollen spezifische Eigenschaften verschiedener Speicher im Fahrzeug genutzt werden, führt dies automatisch zum Einsatz mehrerer Speicher. Zukünftig könnte das Energiebordnetz mit mehreren dezentralen Speichern ausgestattet sein, die direkt bei der zugehörigen Funktionalität oder Komponente verbaut werden. „Heute findet man dies bereits bei der Diebstahlwarnanlage, die einen intern verbauten Speicher besitzt. Dies dient dazu, dass das

Abklemmen der einfach zugänglichen 12V-Batterie nicht zur Deaktivierung des Diebstahlschutzes führt. Selbst Bremsen besitzen teilweise eigene Notbatterien, damit das Abbremsen des Fahrzeugs zu jeder Zeit garantiert werden kann“ (Kunde). Folglich sind zur Absicherung sicherheitskritischer Funktionen eigene, im Fahrzeug dezentral verteilte Speicher durchaus interessant.

Die Integration von Drive-by-Wire und autonomen Funktionen erfordert die Implementierung eines komplexen Energiemanagements zur Sicherstellung des Betriebs. Bisher besitzen viele Komponenten im Niederspannungsnetz Eingangskondensatoren, die zur internen Glättung der Spannung und zum Ausgleich von Spannungseinbrüchen im Netz dienen. Gemäß Experten von Kunde und Anbieter könnte der Einsatz von verteilten Speichern die Realisierung der Safety Anforderungen mit Notbetrieb sogar vereinfachen, da Komponenten bei Ausfall des Netzes auf ihre eigenen Speicher zurückgreifen könnten. Ähnlich der in Kapitel 3.5.1 diskutierten möglichen Veränderung der Spannungslage, sind auch hier Überlegungen erforderlich, für welche Bordnetzkomponenten welche Speichersysteme effektiv eingesetzt werden können. Experten von Forschung und Anbieter stellen dar, dass mittels verteilter Speicher ein Leistungsmanagement zur kurzfristigen Entkopplung von Hochleistungsverbraucher aus dem Netz denkbar sei. Dies erleichtert die Garantie der Spannungsstabilität und könnte heutige Leitungsquerschnitte verringern.

„Für Systeme mit dezentralen, teilautarken Speichern ist die Absicherung und Auslegung zu klären: In wie weit muss das System überdimensioniert werden und welche Stromtragfähigkeit muss gegeben sein? Eventuell ist ein Master-Hauptspeicher sinnvoll. Dieser erhält zunächst die gesamte Energie, koordiniert deren Verteilung und verwaltet Lasten und wirft sie gegebenenfalls ab“ (Kunde).

3.5.3 Veränderung der Sicherungstechnik

Laut der befragten Experten, geht der Trend zur verteilten Absicherung im Fahrzeug. Der große Nachteil einer zentralen Verteilerbox ist der hohe Verkabelungsaufwand und die damit verbundenen großen Leitungslängen, da alle Kabel über die Sicherungsbox geführt werden müssen. Weiterhin werden Kabelquerschnitte überdimensioniert, da Schmelzsicherungen Fehlerströme nicht gezielt und unmittelbar abschalten. Das zentrale Sicherungskonzept mit Schmelzsicherungen führt somit nicht zur optimalen Anzahl, Länge und Gewicht der Versorgungsleitungen sondern ist „archaisch und unschön“ (Forschung).

In der Oberklasse wurde deshalb das zentrale Sicherungskonzept bereits verlassen. „Stattdessen gibt es vorne und hinten insgesamt 3 bis 4 Sicherungseinheiten, die sinnvollerweise

zukünftig mit weiteren Sicherungsboxen rechts und links im Fahrzeug ergänzt werden“ (Kunde). Dadurch werden die einzelnen Sicherungsboxen kleiner und die Absicherung führt nicht zu unnötig langen Leitungen. Kunde und Anbieter stellen dar, dass dieser Trend mit Einführung des 48V-Netzes im Fahrzeug weiter verstärkt wird, da die zugehörigen Komponenten verteilt im Fahrzeug sitzen und somit auch eine verteilte Sicherung Sinn ergibt.

Antworten	zentraler Sicherung	verteilte Sicherung	Weiß nicht
Forschung	0	3	3
Kunde	2	4	2
Anbieter	0	4	7
Gesamt	2	11	12

Tabelle 3.11: Antworten zur Frage, ob zukünftig weiterhin ein zentrales Sicherungskonzept im Fahrzeug eingesetzt wird.

Die Einfachheit beim Service und bei der Wartung ist einer der Hauptvorteile der heutigen zentralen Bündelung von Sicherungen. Außerdem müssen alle Komponenten abgesichert sein und ein nicht systemübergreifender Ansatz ist für die Sicherheit nicht akzeptabel, da unterschiedliche verfolgte Ansätze Schwachstellen und Schlupflöcher generieren (Anbieter). Deshalb bleibt auch eine begrenzte Anzahl von Sicherungskästen sinnvoll.

Schmelzsicherungen sind im Vergleich mit intelligenten Halbleiterschaltern extrem günstig, weshalb insbesondere kleine und günstige Fahrzeuge weiterhin eine zentrale Sicherungsbox haben werden. Die Implementierung einer vereinfachten Topologie muss sich in irgendeiner Weise lohnen, da teurer aus Endkundensicht nicht akzeptiert wird (Kunde). Vom Anbieter wird angemerkt, dass der Leidensdruck bei den OEM heute zu klein ist, um Verbesserungen durchzusetzen. Seit vielen Jahren seien dezentrale Sicherungen im Gespräch, aber es wurde nie umgesetzt. Die Dynamik in der heutigen Halbleiterentwicklung sei groß, aber heute gibt es auch technische Probleme, welche den Einsatz ebenfalls verhindern. „Problem ist heute, passende kostengünstige Halbleiter zu finden, die eine akzeptable Abwärme aufweisen“ (Kunde).

„Ein großer Vorteil der intelligenten Sicherungen ist, dass ein solches System mehr Möglichkeiten und Freiheiten im Design bietet. So können neue Diagnosemöglichkeiten eingesetzt werden, um z.B. die Degradation über die Lebenszeit zu bestimmen“ (Anbieter).

Verteilte Absicherung mit intelligenten Schaltern

Der Trend geht zur Entwicklung von elektrischen Sicherungen, die in Kombination mit internen Maßnahmen in den elektrischen Komponenten selbst, nach und nach die eingesetzten Schmelzsicherungen ersetzen werden. Der Vorteil dieser intelligenten Halbleiterschalter (Smart Fuses) ist, dass sie schneller und präziser in der Abschaltung von Fehlerströmen sind als Schmelzsicherungen. Das heißt, das „Stromdelta bis zur Abschaltung sinkt und somit ist es auch möglich den Querschnitt der heutigen Leitungen zu verringern“ (Forschung), vergleiche [5]. Es ist denkbar, dass der „Einsatz von selbstheilenden Leitungen bis zu 60% der heute im Fahrzeug verlegten Leitungen einsparen könnte“ (Anbieter). Weiterhin ist es möglich, Smart Fuses nach Beheben des Fehlers problemlos wieder einzuschalten. Sie können folglich unzugänglich, bei der Komponente direkt vor Ort eingebaut werden. Außerdem führt der Einsatz von im Bauteil integrierten elektrischen Sicherungen ebenfalls zu weniger Leitungen und weniger Steckverbindungen. „Hier könnten sich die höheren Kosten für ein elektronisches Sicherungssystem heute schon rechnen“ (Kunde). Ein weiterer Vorteil bei intelligenten Schaltern ist die sinkende EMV Abstrahlung, da keine Relais mehr geschaltet werden müssen. „Nach dem Motto Intelligenz statt Kupfer könnten auch Piezo Elemente verwendet und bestehende Kabel durch Funk und Induktion ersetzt werden“ (Forschung).

Laut Anbieter wird sich ein Mischkonzept mit günstigen Schmelzsicherungen und teureren Halbleiterschaltern ausbilden, das abhängig von der zu schaltenden Stromstärke ist. Im 48V-System können mit Hilfe von intelligenten Schaltern Lichtbögen einfach detektiert und der entsprechende Bordnetzbereich gezielt abgeschaltet werden.

Forschung und Kunde vermuten, dass sich das Sicherungskonzept nur bei einer Veränderung des Energiebordnetzes ändert, da es direkt von dessen Realisierung abhängt.

3.5.4 Ausprägung einer neuen Energieversorgungstopologie

Die zukünftige Energieversorgungstopologie hat zwei bis drei Spannungsebenen, HV, 48V und vielleicht noch 12V und ist generisch aufgebaut, um das flexible Nachrüsten von Komponenten zu ermöglichen. Zur Erfüllung der funktionalen Sicherheiten werden zwei Speicher zur redundanten Energieversorgung eingesetzt. Weiterhin wird ein intelligentes Energiemanagement mit abschaltbaren Zweigen und der direkten Ansteuerung aller Lasten implementiert.

Denkbar ist die Realisierung eines Energiebackbones⁶, unabhängig von der Kommunikationstopologie, mit zentralen Knoten, an denen Energie abgegriffen werden kann. Die Übertragung erfolgt dabei auf einem hohen Spannungsniveau, das für die Versorgung vor Ort oder sogar erst Komponentenintern herunter gewandelt wird. Wünschenswert wäre, wenn jede Komponente einen Stecker für die Energie- und einen für die Datenversorgung hätte und durch das „andocken“ an die entsprechenden Backbonestrukturen automatisch in die E/E-Architektur integriert würde (Plug and Play). Die Energieversorgung kann außerdem dazu beitragen, Daten abzusichern. Bereits heute werden im Elektrofahrzeug die Daten des Sensors zur Erfassung des Motormoments mittels der energetischen Ansteuerung überprüft. Die Energieansteuerung ermöglicht folglich die Überwachung der Daten auf dem Bus, ohne eine redundante Auslegung der Kommunikation.

Wie bereits beim Aufbau zukünftiger Kommunikationsnetze in 3.4.2 dargelegt, könnte auch der parallele Einsatz von PoE und PLC eine gegenseitige Absicherung der Kommunikation und Energieversorgung ermöglichen. Bei nicht sicherheitskritischen elektrischen Komponenten könnte der Einsatz von PLC sogar nur noch die Verlegung der Energieversorgung erfordern. „Ideal wäre auch die Energieverteilung ohne Kabel wie Induktion. Überall im Fahrzeug stünde Energie zur Verfügung, die Komponenten direkt vor Ort abgreifen können“ (Kunde).

Neue Materialien wie CFK haben großen Einfluss auf die Topologie des Niedervoltbordnetzes, da z.B. der Masseleiter nicht mehr über das Chassis geführt werden kann. Auch ein selbsttragender Kabelbaum, der strukturelle Aufgaben im Fahrzeug übernimmt, ist denkbar. Eine geforderte Verfügbarkeit von gewissen Funktionen nach Abstellen des Fahrzeuges durch die Vernetzung mit einem Back End kann Ebenfalls eine Veränderung der Topologie herbeiführen. Dabei muss die Kommunikation nach außen weiterhin mit Energie versorgt werden können.

3.6 Vision

Zukünftig wird die bestehende funktionale Topologie von einem geometrisch optimalen Aufbau abgelöst. Dieser besteht aus einem Energie- und einem Datenbackbone, die durch das gesamte Fahrzeug verlegt sind. Komponenten können vor Ort an diese angeschlossen werden.

⁶Ein Forscher sieht den Einsatz von Energiebussen kritisch. Es gäbe immer wieder Forschungsprojekte zu diesem Thema, 3 in den letzten 15 Jahren. Trotz Vorteilen, wie der Möglichkeit einer mechanisch stabilen Übertragung ohne weitere Absicherung, sei die benötigte Technik für den Einsatz zu teuer.

Das Datenbackbone ersetzt die heutige Gateway-Struktur und verbindet leistungsstarke Leitrechner mit hoher Rechenleistung und Kommunikationsvermögen, die in geometrisch sinnvollen Bauräumen im Fahrzeug verbaut sind. Das als Backbone eingesetzte Ethernetprotokoll ermöglicht hohe Datenraten bei gleichzeitig sicherer und echtzeitfähiger Kommunikation. Zusätzlich zum Datenbackbone wird ein weiteres günstiges Kommunikationsprotokoll für geringe Datenraten verwendet, hier wird CAN oder CAN fd zum Einsatz kommen. Zur weiteren Verringerung der verlegten Kabel wird auch die kabellose Datenübertragung ins Fahrzeug integriert, beispielsweise um Sensoren zu integrieren. Eingesetzte smarte Sensoren und Aktoren besitzen einen direkten Buszugriff. Dies erleichtert ihre Nutzung für verschiedene Funktionen.

Die Hardware ist unabhängig von der implementierten Software. Dies ermöglicht eine freie Verteilung der Funktionen im System und eine bedarfsgerechte Erweiterung durch neue Apps, solange die integrierte Rechenleistung ausreicht. Weiterhin werden Systemupdates über die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs zugelassen. Die Standardisierung von Schnittstellen erleichtert die Einbindung externer Geräte.

Das heutige 12V-Energieversorgungsnetz wird um eine weitere Niederspannungsebene, 48V, ergänzt und langfristig vollständig durch diese ersetzt. Die höhere Spannungsebene ermöglicht die sichere Integration von Hochleistungsverbrauchern bei geringeren Verlusten. Gleichzeitig wird der Sicherheitsaufwand, der bei Spannungen über 60V getätigt werden muss, vermieden. Die Energieverteilung über das Energiebackbone erfolgt auf der höheren Spannungsebene. Weiterhin ersetzen intelligente Halbleiterschalter das bestehende Sicherheitskonzept mit Schmelzsicherungen. Dadurch wird der Kabel- und Wartungsaufwand reduziert und ein intelligentes Energiemanagement ermöglicht. Ein integriertes Energiemanagement kann alle elektrischen Verbraucher gezielt ansteuern und ganze Zweige zu- oder abschalten. Es steuert auch die Verteilung der elektrischen Energie zwischen den beiden Niederspannungsnetzen.

Parallel zur Einführung einer weiteren Spannungsebene wird ein zweiter Speicher integriert. Dies ermöglicht die redundante Energieversorgung zur Absicherung sicherheitskritischer Verbraucher. Ob solche Verbraucher eigene, interne Speicher erhalten, um ihre Funktionalität beim Ausfall der Energieversorgung für bestimmte Zeit zu garantieren, ist offen. Der Einsatz einer zyklenfesten Lithium-Ionen-Batterie auf der 48V-Ebene, erlaubt die optimale Nutzung der Vor- und Nachteile gegenüber etablierten Blei-Säure-Batterien. In Abbildung 3.11 und Tabelle 3.12 sind heutige Merkmale der IKT Architektur mit den von den Experten genannten Problemfeldern und der hier vorgeschlagenen Vision als Lösung für die Zukunft dargelegt.

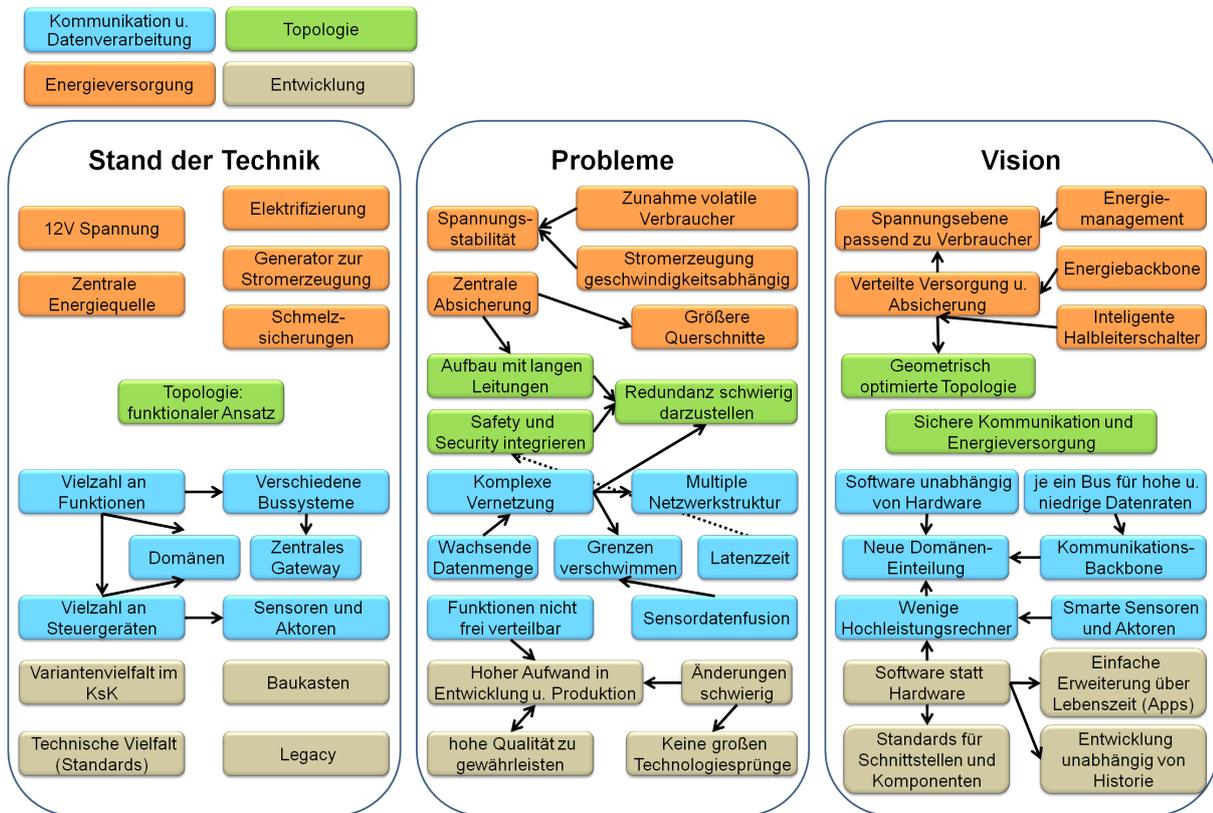


Abbildung 3.11: Darstellung ausgewählter Merkmale des aktuellen Stands der Technik, zugehöriger Problemfelder und Visionen als mögliche Lösungen dieser Probleme der E/E-Architektur

Stand der Technik	Problemfelder	zukünftige Lösungen (Vision)
Topologie: funktionaler Ansatz	- Aufbau führt zu langen Leitungen	-Topologie mit geometrisch sinnvoller Platzierung von Komponenten
Funktionen werden mit eigenen Steuergeräten, Sensoren und Aktoren integriert	-Wachsende Vernetzung -Viele verschiedene Kabel -Integration cloudbasierter Dienste -Neue Funktionen erfordern Sensordatenfusion	-Smarte Sensoren und Aktoren mit direktem Buszugriff -Security fähige Komponenten -Sensordatenfusion

Stand der Technik	Problemfelder	zukünftige Lösungen (Vision)
Domänen: Komplexe Vernetzung zwischen Funktionen in verschiedenen Subnetzen	-Funktionen können nicht frei im System verteilt werden, ohne Busstruktur anzupassen -Redundanz schwierig zu realisieren	-Software unabhängig von Hardware frei im System verteilbar -gegenseitige Absicherung der Kommunikation und Energieversorgung durch Power over Ethernet und PLC
Vielzahl von Steuergeräten	-Viel Hardware -Hohe Datenmenge	-Software statt Hardware -wenige Leitrechner mit hoher Rechenleistung (Evolution Domänenleitrechner)
Verschiedene Busse, je nach Anforderung (LIN, CAN, CAN fd, MOST, FlexRay)	-Viele verschiedene Subnetze mit unterschiedlichen Paradigmen - Latenzzeit durch benötigte Gateways -Viele verschiedene Kabel - Hohe Datenraten -Übertragungsgeschwindigkeit	-Zwei Bussysteme, eines für hohe Datenraten und Sicherheit und ein günstiges für geringe Datenraten: Ethernet + CAN (fd) -Sensordaten kabellos übertragen -Backbone Datenbus: sicheres, echtzeitfähiges Kommunikationsprotokoll mit hoher Datenrate und geringen Kosten
Stichleitungen für zeitkritische Signale	-Übertragungsgeschwindigkeit	-sicheres, echtzeitfähiges Kommunikationsprotokoll -Digitalisierung analoger Signale

Stand der Technik	Problemfelder	zukünftige Lösungen (Vision)
12V Spannung	-Hohe elektrische Verluste -Hohe Ströme zur Darstellung höherer Leistung	-Multispannungssystem mit verschiedenen Spannungsebenen für verschiedene Verbraucher
Generator zur Stromerzeugung	-Geschwindigkeitsabhängige Energieerzeugung	-Entkopplung von Energieerzeugung und Fahrleistung
Blei-Säure-Batterie	Zyklenfestigkeit z.B. für Start-Stopp	-Speicher mit hoher Zyklenfestigkeit
Zentrale Pufferbatterie	-Sicherheitsanforderungen steigen bei reiner elektrischer Versorgung	-Mindestens 2 Speicher zur redundanten elektrischen Versorgung
Zentrale Absicherung mittels Schmelzsicherungen	-Aufbau führt zu langen Leitungen	-Verteilte Absicherung mit intelligenten Halbleiterschaltern
Elektrifizierung mechanischer und hydraulischer Komponenten	-Zunahme des elektrischen Energieverbrauchs -Zunahme des elektrischen Leistungsverbrauchs	-Energiebackbone zur Verteilung der Energie im Fahrzeug
Neue elektrische Komponenten / Funktionen	-Zunahme der volatilen Verbraucher durch Elektrifizierung	-Intelligentes Energiemanagement mit zu- und abschalten verschiedener Bereiche

Tabelle 3.12: Vergleich zwischen der bisherigen Ausprägung der IKT Architektur im Fahrzeug und zukünftigen Lösungen um Herausforderungen zu meistern

4 Zusammenfassung

Dieser Bericht zeigt die Ergebnisse eines Experteninterviews im deutschen Raum mit Vertretern der Automobilbranche und der Forschung. Ziel des Experteninterviews war das Finden realitätsnaher Anforderungen und Systemgrenzen verschiedener Stakeholder des Entwicklungsprozesses, das Erfassen möglicher Trends der E/E-Architektur und das Generieren einer Vision eines möglichen zukünftigen Aufbaus.

Das Experteninterview zeigt, dass im heutigen Entwicklungsprozess die Kosten das wichtigste Auslegungs- und Optimierungskriterium darstellen. Komponenten müssen skalierbar sein, um die bestehende Variantenvielfalt zur Erfüllung der individuellen Endkundenwünsche kosteneffizient bedienen zu können. Funktionen und Komponenten verschiedener OES können bei hoher Qualität und Zuverlässigkeit in die E/E-Architektur integriert werden. Der Kabelbaum ist einfach zu montieren und zu warten. Das Gewicht und der elektrische Verbrauch sind weitere wichtige Optimierungskriterien, um den Verbrauch zu senken und die erlaubten CO_2 -Emissionen zu erreichen. Hierbei gilt die Optimierung des Kabelbaums zur Verringerung des Verdrahtungsaufwands als Hauptanforderung, die nicht nur das Gewicht sondern auch direkt die Kosten des Kabelbaums beeinflusst. Dies betrifft die Anzahl an Stecker, also möglicher Fehlerquellen, Kabelzahl, -länge, -querschnitt und Material.

Außerdem werden mehr und mehr Signale und Komponenten digitalisiert und elektrifiziert. Gleichzeitig muss eine wachsende Zahl an Funktionen und damit verbunden Steuergeräte, Sensoren und Aktoren ins Fahrzeug integriert werden. Dies führt einerseits zu einer drastischen Erhöhung der zu übertragenden und zu verarbeitenden Daten im Fahrzeug und andererseits nimmt die Zahl volatiler Hochleistungsverbraucher und damit der Energie- und Leistungsbedarf zu.

Die wachsende Vernetzung innerhalb des Fahrzeugs lässt heutige Domänengrenzen immer mehr verschwimmen und stellt den bestehenden Aufbau mittels Gateways zur Verbindung verschiedener Subsysteme in Frage. Diese Entwicklung wird aufgrund der gewünschten Integration neuer ADAS Funktionen bis hin zum autonomen Fahren und der dafür benötigten Car-to-X Vernetzung, zu externen Geräten, anderen Fahrzeugen oder einem Backend, weiter verstärkt. Die Erfüllung von Safety und Security Anforderungen rückt durch die

Integration neuer sicherheitsrelevanter Funktionen und Komponenten weiter in den Vordergrund. Es müssen sinnvolle Redundanzen und Rückfallebenen integriert werden, um eine fail-operational Auslegung sicherheitskritischer Systeme garantieren zu können. Aufgrund der zunehmenden Zahl an Komponenten bei gleichzeitig wachsender Vernetzung und steigenden Sicherheitsanforderungen stößt sowohl die Kommunikation als auch die Energieversorgung heutiger E/E-Architekturen an ihre technischen Grenzen.

Viele Experten sehen das Fehlen von revolutionären Ansätzen in der Entwicklung als Hindernis an, da heutige Entwicklungsbudgets und -zeit nicht ausreichen, um das bestehende System grundlegend zu überarbeiten. Die rein evolutionäre Entwicklung mit dem damit verbundenen hohen Anteil an Legacy sei aufgrund der heutigen großen Herausforderungen nicht zukunftsfähig. Evolution und Revolution müssen Hand in Hand gehen, um die Vorteile beider Prinzipien nutzen zu können, weshalb zukünftig unabhängig von der historischen Struktur entwickelt werden sollte.

Das Kommunikationsnetz benötigt auf der einen Seite deutlich höhere Rechenleistungen und ein integriertes Datenmanagement, um die aufkommenden Daten verarbeiten zu können. Auf der anderen Seite müssen neue Übertragungsprotokolle integriert werden, um die erforderliche hohe Bandbreite und Echtzeitfähigkeit zu realisieren. Es wird erwartet, dass die heutige Vielzahl an Steuergeräte durch wenige, hochintegrierte Rechereinheiten und smarte Sensoren und Aktuatoren mit direktem Buszugriff ersetzt wird. Weiterhin wird die Gateway-Struktur einem Datenbackbone weichen, voraussichtlich Ethernet. Viele Experten sehen die Möglichkeit, dass langfristig nur noch zwei verschiedene Busse im Fahrzeug Anwendung finden, Ethernet für hohe und CAN für niedrige Übertragungsraten. Die neue Topologie muss Systemerweiterungen zulassen, so dass (Software-) Updates und die Installation kundenspezifischer Apps möglich sind, und über die gesamte Lebenszeit kompatibel mit CE-Produkten sein. Diese Umgestaltung der Architektur könnte zu einer Neueinteilung der bestehenden Domänen führen, um neuen Anforderungen gerecht zu werden. Die Einteilung in verschiedene Bereiche wird laut Experten aber allein schon aufgrund der verschiedenen Sicherheitsanforderungen bestehen bleiben.

Insbesondere transiente Hochleistungsverbraucher machen die Stabilisierung der Systemspannung der elektrischen Energieversorgung und die damit verbundene Sicherstellung der Funktionalität aller elektrischen Komponenten schwer. Zukünftig soll die direkte Ansteuerung aller Komponenten, mit Hilfe eines intelligenten Energiemanagements, Spannungseinbrüche durch volatile Lasten vermeiden und den Energieverbrauch senken. Es muss dabei sichergestellt werden können, dass sicherheitskritische Zweige immer aktiv sind. Weiterhin wird zur Versorgung solcher volatiler Verbraucher und zur Integration neuer Funktio-

nen mit hohem Energie- oder Leistungsbedarf 48V als weitere Niederspannungsebene im Fahrzeug eingeführt. Diese hat gegenüber 12V den Vorteil höherer Leistung und geringeren Verlusten, bei gleichzeitig deutlich geringeren Sicherheitsanforderungen als beim HV-System. Das HV-System hat für die reine elektrische Traktion weiterhin Bestand. Die neue Spannungsebene wird evolutionär eingeführt, da für 12V heute viele billige Komponenten mit geringem Verbrauch fertig entwickelt und auf dem Markt verfügbar sind. Langfristig wird erwartet, dass nur 48V im Fahrzeug zu finden sein wird.

Vorteil zweier Spannungsebenen mit jeweils eigenen Pufferspeichern wäre eine mögliche redundante Absicherung der Energieversorgung sicherheitskritischer Verbraucher. Deshalb wird von den Experten erwartet, dass zukünftige Fahrzeuge zwei Speicher haben werden. Ob die Zahl der Speicher noch höher sein wird, oder sicherheitskritische beziehungsweise Hochleistungsverbraucher eigene Speicher zur Absicherung bekommen, sei offen. Heute im Fahrzeug befindliche zentrale Sicherungsboxen mit Schmelzsicherungen und Relais werden langfristig durch verteilte Halbleiterschalter ersetzt. Dies ermöglicht einen geringeren Kabelaufwand, wenig bis keine Wartung und die Möglichkeit der direkten Ansteuerung der Komponenten und bietet folglich, trotz der deutlich höheren Kosten gegenüber einfachen Schmelzsicherungen, großes Einspar- und Optimierungspotential im Fahrzeug.

Zur Erreichung der hier dargelegten Ziele sehen die Experten insbesondere die Entwicklungen des IT Bereichs der CE als mögliches Vorbild für die Automobilindustrie, aber auch die Avionik oder Haustechnik böten verschiedene technische Realisierung, an denen sich die Automobilbranche orientieren könnte.

A Leitfaden Experteninterview

1. Welche Erfahrung haben Sie im Bereich der Bordnetzentwicklung von (Elektro-) Fahrzeugen? (z.B. Entwickler, Projektleiter, Auftraggeber, Qualitätssicherung mit folgenden Aufgaben...)
2. Was sind ihrer Meinung nach die wichtigsten Merkmale im heutigen Aufbau des Fahrzeugbordnetzes? (Aufbau Energiebordnetz / Systemarchitektur / Funktionsarchitektur...)
3. Wie sieht ihrer Meinung nach der Bordnetzentwicklungsprozess heutiger Fahrzeuge aus?
4. Unterscheidet sich die Entwicklung von heutigen Bordnetzen für konventionelle Fahrzeuge von der von Elektrofahrzeugen? Wenn ja wieso?
5. Welcher Anforderungen werden an Bordnetze heute gestellt?
6. Anhand welcher Kriterien werden Bordnetze heute optimiert? Wie würden Sie diese Kriterien priorisieren? (5 sehr wichtig – 1 unwichtig)
7. Das Bordnetz ist heute in verschiedene Funktionsbereiche, die Domänen unterteilt. Ist diese Unterteilung auch in Zukunft sinnvoll?
8. Das Niedervolt-Bordnetz besitzt heute eine allgemeine 12V- Spannungsebene und interne, kleinere Spannungen von z.B. 3,5V und 5V. Ist dies auch in Zukunft sinnvoll?
9. Ist das zentrale Sicherheitskonzept zukunftsfähig?
10. Heute besitzt das Niedervolt-Bordnetz einen Energiespeicher, in der Oberklasse auch zwei. Sehen Sie hier Optimierungschancen durch den Einsatz verteilter Speicher?
11. Was sind für Sie die wichtigsten Herausforderungen, die das Bordnetz der Zukunft meistern muss?
12. Was sind für Sie die größten Hürden, die es bis dahin zu überwinden gilt?
13. Welche neuen Anforderungen werden somit an die Funktionalität von zukünftigen Bordnetzen gestellt?
14. Brauchen wir für zukünftige Bordnetze neue Kommunikationsarchitekturen?

15. Führen neue Kommunikationsarchitekturen auch zu neuen Energiebordnetztopologien?
16. Haben Sie eine Vision, wie für Sie das zukünftige Bordnetz gestaltet sein müsste?
17. Was bedeutet ihrer Meinung nach eine revolutionäre Weiterentwicklung gegenüber einer evolutionären Weiterentwicklung?
18. Haben evolutionäre Weiterentwicklungen Nachteile gegenüber revolutionären Technologiebrüchen? Wenn ja wieso?
19. Wird das Bordnetz ihrer Meinung nach heute evolutionär oder radikal entwickelt?
20. Bietet der Einsatz von Ethernet im Bordnetz Vorteile gegenüber heutigen Strukturen? Welche? Wo macht es Sinn konventionelle Busse einzusetzen? Wo Ethernet?
21. Können aus anderen Branchen Anforderungen und Trends in den Entwicklungsprozess des Fahrzeugbordnetzes adaptiert werden?
Wenn ja aus welchen Branchen welche Trends?

B Auswertung der bewerteten Optimierungskriterien

Die Experten wurden befragt, anhand welcher Kriterien Bordnetze heute optimiert werden, und wie sie die jeweils selbst genannten Optimierungskriterien priorisieren würden. Die Einteilung reichte von 5 Punkten für das wichtigste bis 1 Punkt für das unwichtigste. Bei mehr als 5 genannten Optimierungskriterien, oder bei fehlender Priorisierung durch den Experten, erhalten alle nicht bewerteten Kriterien einen Punkt. Die dadurch entstandene Rangliste heutiger Optimierungskriterien ist in Tabelle B.1 abgebildet.

Zu beachten ist allerdings, dass den Experten keine Vorgaben möglicher zu priorisierender Optimierungskriterien gegeben wurden. Deshalb zeigt die Priorisierung nur eine Tendenz. Beispielsweise steht dadurch ein von nur einem Experten genanntes Kriterium mit hoher Priorität vor Kriterien mit Mehrfachnennung, aber niedriger Priorisierung. Die Priorisierung ist außerdem von der jeweiligen Markenstrategie des OEM abhängig, da die Endkundenerwartungen an die Marke erfüllt werden müssen. Weiterhin sind einige Optimierungskriterien abhängig vom jeweiligen Fahrzeugsegment. So sind beispielsweise bei Sportwagen im Gegensatz zum Kleinwagen Kosten und der CO_2 -Ausstoß nicht das entscheidende Optimierungskriterium, aber Gewicht und Einmalaufwände schon.

Optimierungskriterium	Punkte gesamt	$\bar{\phi}$	Anzahl Antworten				Anmerkungen
			F	K	A	Ges	
Geringe Kosten	78	3,9	4	7	9	20	Wichtigkeit Abhängig von Fahrzeugsegment
Geringes Gewicht	56	3,29	5	5	7	17	Wichtigkeit Abhängig von Fahrzeugsegment
Qualität hoch	22	4,4	1	1	3	5	Zuverlässigkeit des Systems muss gegeben sein, robust
Volumen klein	18	2,25	3	2	3	8	Packaging auf technische Randbedingung Bauraum
konstante Versorgungsspannung	13	2,6	1	1	3	5	Muss erfüllt werden
Produktion (Aufwand)	10	2,0	1	3	1	5	Einfache Verlegung, Skalierbarkeit, Automatisierung, Adaption von Lerneffekten

Optimierungskriterium	Punkte gesamt	$\bar{\phi}$	Anzahl Antworten				Anmerkungen
			F	K	A	Ges	
Verdrahtungsaufwand gering	9	4,5	0	0	2	2	Direkter Einfluss auf Komplexität, Materialeinsatz und somit Kosten und Gewicht
Funktionen sicher implementiert	8	1,6	2	2	1	5	Funktionen müssen sicher sein und dürfen sich nicht gegenseitig beeinflussen
Energieverbrauch optimal	8	2,0	1	2	1	4	Verluste möglichst gering, Energiemanagement
Anzahl Stecker minimal	8	4,0	0	1	1	2	Möglichst wenig eventuelle Fehlerquellen
CO ₂ -Ausstoß minimal	6	1,5	1	1	2	4	Muss erfüllt werden
Funktionale Sicherheit (ISO 26262)	6	1,5	1	1	2	4	Sicherstellung der Versorgung auch mit steigender Elektrifizierung
Ausfallsicheres System	5	2,5	0	1	1	2	Fail Operational im System realisieren
Funktionsumfang	5	2,5	0	1	1	2	Funktionen parametrierbar auf verschiedene Fahrzeugplattformen Funktionsumfang erweiterbar gestaltet
Hochintegration	5	2,5	1	1	0	2	Minimale Anzahl an Steuergeräten / Komponenten im Fahrzeug
Technologie-/Marktführer	5	2,5	1	0	1	2	Wichtigkeit Abhängig von Fahrzeugsegment Nicht um jeden Preis Entwicklung wird oft als einmaliger Aufwand gesehen und somit nicht als direkter Kostenfaktor
Aufwände einmalig	5	5,0	0	1	0	1	Wichtigkeit Abhängig von Fahrzeugsegment
Security gestalten	4	2,0	0	1	1	2	Unerlässlich für Fahrzeugsicherheit, wenn Vernetzung steigt

Optimierungskriterium	Punkte	ϕ	Anzahl Antworten				Anmerkungen
			F	K	A	Ges	
Markteintritt	3	3,0	1	0	0	1	Feature ist noch nicht auf dem Markt vertreten
Lieferantenstrategie optimieren	2	1,0	1	0	1	2	Beispiel Einsatz von einem Steuergerät von einem Lieferanten statt bisher zwei
Bandbreite	2	1,0	1	0	1	2	Eingesetzte Materialien optimieren, um Anforderungen zu erfüllen
Echtzeitfähigkeit	2	1,0	1	0	1	2	
Materialien	2	1,0	1	1	0	2	
Wartbarkeit	2	2,0	0	0	1	1	Einfache Wartung oder bestenfalls keine Wartung benötigt
EMV	1	1,0	0	1	0	1	Bestenfalls keine EMV Abstrahlung im Fahrzeug
Komplexität im System verringern	1	1,0	0	0	1	1	Schnittstellen oder System komplex
Legacy	1	1,0	0	0	1	1	Veränderung der gewachsenen Strukturen und Prozesse zur Optimierung der Kosten und Time to Market der Entwicklung
Feuergefahr bei Unfall	1	1,0	0	1	0	1	Brandgefahr bei Elektroautos so minimal wie möglich

Tabelle B.1: Liste möglicher Optimierungskriterien, sortiert Anhand der Priorisierung der Experten von Forschung (F), Kunde (K), Anbieter (A)

C Anforderungstabellen

Im Folgenden sind die von den Experten genannten Anforderungen an heutige Bordnetze, Herausforderungen zukünftiger Bordnetze und die zu überwindenden Hürden zur Erfüllung der Herausforderungen dargestellt.

Antworten	Anforderungen heute	Anforderungen morgen	Herausforderungen	Hürden	Vision
Forschung (F)	7	6	6	6	5
Kunde (K)	6	5	6	6	4
Anbieter (A)	9	7	9	8	7
Gesamt	22	18	21	20	16

Tabelle C.1: Anzahl der zur Erstellung des Anforderungskatalogs bewerteten Expertenantworten der jeweiligen Fragen: Anforderungen heute, zukünftige Anforderungen, Herausforderungen und zugehörige Hürden und Vision einer zukünftigen E/E-Architektur.

C.1 Allgemeine Anforderungen, Herausforderungen und Hürden

Anforderungen	Heute			Zukunft			Hürden			
	F	K	A	F	K	A	F	K	A	
Kosten senken	x	x	x	x	x	x				Kosten senken
Zahlungsbereitschaft und Akzeptanz des Endkunden	x	x	x			x				
Endkundenerwartung an Marke muss erfüllt werden	x									1. Markteintritt nicht OEM Ziel
Hohe Lebensdauer			x			x				
Wartungsaufwand minimieren			x							
Hohe Qualität	x	x	x							große Zahl an Funktionen/Steuergeräten
Robust und zuverlässig	x	x	x							
Produktion mit geringer Fehlerhäufigkeit	x	x	x							
Montierbarkeit			x			x				
Package auf Bauräume möglichst sein	x	x	x	x						Baugroßen Technologie
Komponenten müssen Bauraumgerecht ausgelegt sein (Dicht, temperaturfest,...)	x	x	x							
Produktion soll automatisiert werden									x	Schwierig durch KsK

Anforderungen	Heute		Zukunft			Hürden		
	F	K A	F	K	A	F	K	A
Skalierbarkeit	x	x			x			
Variantenmanagement zu komplex, Vielfalt muss beherrschbar sein	x	x		x	x			Jeder Kabelbaum ist heute ein Unikat Logistik
Standardisierung der nicht wettbewerbsentscheidenden Soft- und Hardware		x			x	(Lücken in heutiger) Standardisierung	Standards für Schnittstellen, Hard- und Softwareplattformen / Farben...	Technische Vielfalt; kaum Standards für Stecker
Anpassung an sich ändernde Wertschöpfung		x			x	Angst vor neuen Playern		
Entwicklung muss langsame Kompatibilität mit CE Produkten gestatten	x	x	x	x			Fahrzeug-Entwicklungszyklen dauern min 3 Jahre	
Entwicklung gemäß ISO 26262		x	x		x			Bezug auf Komponenten schwierig, da FuSi sich auf Funktionen bezieht
Wiederverwendung fast um jeden Preis	x	x						
Entwicklung unabhängig von historischer Struktur					x	Festhalten an bekannten Anforderungen, unabhängig von System	Mut des zu ändern fehlt	

Anforderungen	Heute			Zukunft			Hürden			
	F	K	A	F	K	A	F	K	A	
Mitarbeiter müssen Informationstechnik und E/E Architektur verstehen							Verständnis für Informationstechnik und E/E bei OEM	Mitarbeiter sollen auf einmal PC Entwicklungsprinzipien umsetzen	Verständnis für E/E bei OEM	
Strukturen im Konzern müssen aufgebaut werden							Mindset im Management	Strukturelle Probleme im Konzern (OEM) Kommunikation beim Unternehmen - keiner weiß, was die anderen für Probleme und Lösungen hat	Abteilungen müssen miteinander reden Struktur beim OEM: nach Do-mänenstruktur organisiert, organisierte für Probleme und Lösungen hat	
Mittels Systems Engineering ganzheitlichen Entwicklungsprozess realisieren	x							Auslegemethodik für Gesamtstruktur fehlt	Systemansatz muss auch gelebt werden. Heute wird mit Erfahrung ausgelegt und nicht streng methodisch.	

Tabelle C.2: Allgemeine Anforderungen, Herausforderungen und Hürden des Bordnetzes

C.2 Anforderungen, Herausforderungen und Hürden Kommunikationsnetz

Anforderungen	Heute			Zukunft			Hürden		
	F	K	A	F	K	A	F	K	A
Fahrerassistenzsysteme und hoher Funktionsumfang sicher ins Fahrzeug integrieren	x	x	x	x	x	x			
Betriebsicherheit des Fahrzeugs muss auch bei Drive by Wire Systemen gewährleistet sein	x	x	x	x	x	x		Durch Vernetzung ist der Ausfall einer Komponente / Leitung kritischer	
autonome Fahrfunktionen integrieren	x	x	x	x	x	x		Gesetzliche Bedingungen für autonomen Betrieb autonomer Systeme	Sichere Szenarien für autonome Systeme
Funktionale Sicherheit: Erfüllung der ISO 26262	x	x	x	x	x	x			
Fail Operational Auslegung sicherheitskritischer Funktionen	x	x	x	x	x	x		Komplexität erschwert Integration von Redundanz	
Hohe Verfügbarkeit	x	x	x	x	x	x			
Echtzeitfähig	x	x	x	x	x	x			
Robuste Kommunikation	x	x	x	x	x	x			

Anforderungen	Heute			Zukunft			Hürden		
	F	K	A	F	K	A	F	K	A
	Große Bandbreite und hohe Übertragungsgeschwindigkeit	x		x	x	x	x		
Datenmanagement zum Handling großer Datenmengen				x	x				
Hochintegration auf wenige hochleistungsfähige Steuergeräte zur Verringerung der Komplexität in der Systemstruktur				x	x	x		Umdenken in der heutigen Art der Auslegung	Sinnvolle Hochintegration muss bezahlt werden
Hohe Rechenleistung zertifizierter autonome Rechner bei geringer Verlustleistung				x	x	x			Rechenleistung: 50W Rechner für autonome Funktionen heute, Steuergerät hat 15W
Kommunikationsarchitektur muss flexibel gestaltbar sein			x				x		
Geometrische Optimierung der Architektur: Sensoren vor Ort an Steuergeräte angeschlossen, Verarbeitung erfolgt im System					x	x		Informationsverarbeitung muss frei im System erfolgen	Vorgaben durch Industriebaukasten

Anforderungen	Heute		Zukunft			Hürden		
	F	K A	F	K	A	F	K	A
Klare Struktur der E/E Architektur zur Senkung der heutigen Systemkomplexität		x	x		x			
Neue Softwarearchitekturen mit Serviceorientierten Funktionen			x		x		Software-basierte Geschäftsmodelle und Produktbeherrschung	
Sensordatenfusion realisieren					x	technische Umsetzung neuer Sensoren und ihrer Daten		
Erweiterbarkeit: Gestattung von Systemupdates und Installation von kundenspezifischen neuen Funktionen (Apps)	x	x	x	x	x	Langfristig die Domänensicht Updates zulassen und gleichzeitig gegen System Integration Zugriffe schützen		
Erweiterbarkeit: Kostendeckende Entwicklung von Applikationen (Stückzahlen kleiner als bei CE)					x			
Erweiterbarkeit: Plug and Play Fähigkeit der Architektur und der Komponenten					x			

Anforderungen	Heute			Zukunft			Hürden			
	F	K	A	F	K	A	F	K	A	
Security: Abschottung gegen unbefugte Zugriffe auf das System			x	x	x	x	Know-How-Aufbau Security	bzgl. Fahrzeug	Welche Daten gehören Daten?	Wem gehören Daten?
Cloudbasierte Fahrdienste sicher im Fahrzeug realisieren (Connectivity)	x		x	x	x	x				Keine Verbindung / Datenraten zu gering für Funktion
Ausbau einer Cloud / Backend Struktur zur Realisierung von vernetzten Funktionen	x					x				Interoperabilität in Energie- und Datenaustausch

Tabelle C.3: Anforderungen, Herausforderungen und Hürden des Kommunikationsnetzes im Fahrzeug

C.3 Anforderungen, Herausforderungen und Hürden Energieversorgung

Anforderungen	Heute			Zukunft			Hürden		
	F	K	A	F	K	A	F	K	A
Gewicht	x	x	x		x	x			
CO2 Grenzwerte einhalten	x	x	x	x	x	x			
minimale Anzahl an Kabeln, die so kurz wie möglich sind	x	x	x			x			
Kabelquerschnitte minimal	x	x	x			x			
Elektrofahrzeuge zu entwickeln				x	x	x			
Wirtschaftlicher Betrieb von Elektrofahrzeuge							Benzinpreise zu niedrig		Batterien müssen leicht und billig sein
Handhabung Elektrofahrzeug gleich der von Verbrennungsfahrzeugen					x	x			
EMV Grenzwerte einhalten	x	x	x	x	x	x			
geringer Ruhestrom				x					
Stabile Spannung	x	x	x		x	x			Erfordert Energiemanagement
Energieversorgung mit hoher Stromtragfähigkeit		x				x			heute werden Ströme größer 250A nicht langfristig getragen

Anforderungen	Heute			Zukunft			Hürden		
	F	K	A	F	K	A	F	K	A
Energiemanagement: keine Spannungsseinbrüche und geringer Energieverbrauch durch intelligenten Teilnetzbetrieb (effiziente Energieversorgung)	x	x	x	x	x	x		Abwärme von Halbleiter Stromverteiler muss deutlich reduziert werden	CAN zu langsam (>10ms) Sicherheitskriterische Zweige dürfen nicht abgeschaltet werden
Elektrifizierung: elektrische Energie muss reichen, um alle Sensoren, Steuergeräte und Aktoren sicher zu versorgen	x	x	x	x	x	x		Bezahlung der Überdimensionierung mit Erfahrung des Entwicklers	
Multispannungssysteme			x			x			

Tabelle C.4: Anforderungen, Herausforderungen und Hürden der Energieversorgung im Fahrzeug

Literaturverzeichnis

- [1] Hans-Hermann Braess and Ulrich Seiffert, editors. *Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik*. Springer Vieweg, Wiesbaden, 7. edition, 2013.
- [2] Konrad Reif, editor. *Automobilelektronik - Eine Einführung für Ingenieure*. Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden, 4. edition, 2012.
- [3] Frank Ortmann. Fahrzeugbordnetz 2018: Anforderungen eines OEM, 24.-25.03. 2014.
- [4] Reinhard Prechler. Anforderungen und Lösungen in der Bordnetzentwicklung, 24.-25.03.2015.
- [5] Anette Sedlmaier-Fuchs, Michael Wortberg, Stefan Lobmeyer, and Karl Ring. Energieverteilung neu gedacht E/E-Architektur als Enabler für innovative Fahrzeugbordnetze. *ATZelektronik*, 9(05):52–57, 2014.
- [6] Matthias Klauda, Michael Schaffert, Athanassios Lagospiris, Gunnar Piel, Sven Kappel, and Markus Ihle. Weichenstellung für 2020 Paradigmenwechsel in der E/E-Architektur. *ATZelektronik*, 10(02):15–22, 2015.
- [7] Markus Schötlle. Zukunft der Fahrerassistenz Mit neuen E/E-Architekturen. *ATZelektronik*, 6.(04):8–15, 2011.
- [8] Thomas Weidner, Dirk Stoeker, Stefan Wender, and Reiner Katzwinkel. Skalierbare E/E-Architekturen für Fahrerassistenzfunktionen. *ATZelektronik*, 8.(06):428–433, 2013.
- [9] ForTISS GmbH, editor. *Mehr Software (im) Wagen Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) als Motor der Elektromobilität der Zukunft: Bericht*. 2012.
- [10] Jörg Küfen, Janek Hudecek, and Lutz Eckstein. Automotive Service Oriented System Architecture - A New Concept and its Possibilities for Future Vehicle Systems. In

- VDE/VDI-Gesellschaft Mikroelektronik, Mikrosystem- und Feinwerktechnik, editor, *AmE 2014*, volume 78 of *GMM-Fachbericht*, pages 117–122, 2014.
- [11] Thilo Streichert and Matthias Traub. *Elektrik/Elektronik-Architekturen im Kraftfahrzeug: Modellierung und Bewertung von Echtzeitsystemen*. Springer Vieweg, Heidelberg, 1. edition, 2012.
- [12] Wikipedia - Die freie Enzyklopädie. Informations- und Kommunikationstechnik, 26.02.2016.
- [13] VDA. Prozessmodell Automotive SPICE, 03.11.2008.
- [14] Wikipedia - Die freie Enzyklopädie. Bordnetz, 17. Februar 2016.
- [15] Jochen Gläser and Grid Laudel. *Experteninterviews und Qualitative Inhaltsanalyse*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 2004.
- [16] ZVEI Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. Executive Summary Funktionale Sicherheit ISO 26262: ZVEI UG2 Adhoc AG Funktionale Sicherheit ISO 26262.
- [17] ISO. ISO 26262 Road vehicles - Functional Safety - Part 1-10, 2011, 15.11.2015.
- [18] Konrad Reif, editor. *Batterien, Bordnetze und Vernetzung*. Bosch Fachinformation Automobil. Vieweg+Teubner, Wiesbaden, [Germany], 1. auflage edition, 2010.
- [19] Henning Wallentowitz and Konrad Reif, editors. *Handbuch Kraftfahrzeugelektronik: Grundlagen, Komponenten, Systeme, Anwendungen*. ATZ/MTZ-Fachbuch. Vieweg + Teubner Verlag, 1. edition, 2006.
- [20] Dieter Nazareth. Bordnetzentwicklung - Eine interdisziplinäre Herausforderung, 24.-25.03. 2014.
- [21] Helmut Kellermann, Gêza Németh, Joerg Kosteletzky, Kai L. Barbehoen, Fathi El-Dwaik, and Ludwig Hochmuth. Elektrik- und Elektronikarchitektur - Bus-Struktur, Energiebordnetz, zentrale Dienste und Kabelbaum. *ATZextra*, (November):30–37, 2008.
- [22] Gerhard Babel. *Bordnetze und Powermanagement: Thermische Modellbildung für elektrische und elektronische Bauteile*. Springer Vieweg, Wiesbaden, 1 edition, 2013.

-
- [23] Wikipedia - Die freie Enzyklopädie. Robustness Validation, 09.02.2015.
- [24] Richard Regler, Jörg Schlinkheider, Markus Maier, Reinhard Prechler, Eduard Berger, and Leo Pröll. Intelligente Elektrik / Elektronik Architektur. *ATZextra*, (Januar):246, 2011.
- [25] Stefan Roemmele. Automated Driving Calls for Secure Networks. *ATZelektronik worldwide*, 10(2):13–17, 2015.
- [26] European Parliament. REGULATION (EU) No 333/2014 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 March 2014 amending Regulation (EC) No 443/2009 to define the modalities for reaching the 2020 target to reduce CO2 emissions from new passenger cars: Regulation (EC) No 443/2009, 11.03.2014.
- [27] Thomas Dörsam, Stefan Kehl, Andreas Klingig, André Radon, and Ottmar Sirch. Die neue Spannungsebene 48V im Kraftfahrzeug. *ATZelektronik*, 7.(01):20–25, 2012.
- [28] Markus Rau. Sicherheit für das 48V-Bordnetz Lichtbögen unter Kontrolle. *ATZelektronik*, 9.(01):38–43, 2014.