© ikonstudio, Mungkorn | VectorStock | fka

Architekturentscheidungen als Basis für nachhaltige Mobilität

Neuentwicklungen in der Pkw-Technik bergen eine Vielzahl von besonderen Herausforderungen in sich, die es hinsichtlich Systemkomplexität sowie Kosten-, Zeit- und Innovationsdruck zu meistern gilt. Auch die Abstimmung mit zusätzlichen Technologiesektoren spielt eine Rolle, stellt die fka fest. Die besondere Relevanz all dieser Faktoren und Architekturen sollte für ein Erreichen der Klimaziele berücksichtigt werden, und diese müssen sich dem Thema Nachhaltigkeit der Mobilität unterordnen.

Wie Architekturen von Fahrzeugsystemen der nächsten Generationen aussehen werden, ist oft und stark diskutiert. Unterschiedliche Verständnisse, Begrifflichkeiten, Kontexte und Assoziationen erschweren die Diskussion. Hinzu kommen spezifische Herausforderungen, die sich aus etablierten Strukturen von Unternehmen und Wirtschaft begründen [1]. Insgesamt ergibt sich ein breites Spektrum an unterschiedlichen Ansichten und Perspektiven, reich an Details, mit begleitenden Strategien, Lösungen und Maßnahmen.

In Bezug auf den Begriff Nachhaltigkeit, der wie der Ausdruck der Archi-

tektur ein weit gefasster und schwierig zu greifbarer ist, ist festzustellen, dass nachhaltige Mobilitätstechnologie mehr als die Frage der Energieeffizienz und der direkten oder indirekten Emissionen ist. Die Betrachtung muss über einen linearen Lebenszyklus von Entwurf und Entwicklung, Produktion und Betrieb und sich anschließender Verwertung hinausgehen. Ressourceneinsätze und -nutzungsgrade auf mehreren Ebenen, über Teilsysteme und Lebenszyklusphasen hinaus, sowie Wechselwirkungen untereinander spielen eine entscheidende Rolle. Ein Paradigmenwechsel im Konzept des Automobils (Pkw und Nutzfahr-

zeug), bei seinen Akteuren (in Bezug auf Architektur, System- und Komponentenentwurf und -nutzung, Betriebsstrategien) und der Integrationsszenarien ist notwendig, wie exemplarische Szenarien aus den aktuellen Konzeptentwicklungen der fka zeigen.

Zur Konzeptionsphase der vorgestellten Architekturansätze war die Viruskrankung Covid-19 noch nicht relevant. Sie ist in vieler Hinsicht eine Beschleunigerin für Veränderungen etablierter Strukturen und Lösungen geworden. Die Frage, wie diese Veränderungen jetzt angegangen und ausgestaltet werden, die auch von der Europäischen Kommis-

AUTOREN

Dipl.-Ing. Jörg Küfen
ist Bereichsleiter Elektrik & Elektronik bei der fka GmbH in Aachen.

Dipl.-Phys. Bart Benders
ist Teamleiter Elektronik- und Energiesysteme im Bereich Elektrik & Elektronik der fka GmbH in Aachen.

Jens Dankert, M. Sc.
ist Teamleiter Systemarchitektur und Software im Bereich Elektrik & Elektronik der fka GmbH in Aachen.

Paul Ziermann, M. Eng.
ist Teamleiter Funktionale Sicherheit und Testing im Bereich Elektrik & Elektronik der fka GmbH in Aachen.

sion aufgebracht wurde [2], ist daher vielleicht aktueller denn je.

SYSTEM- UND ARCHITEKTUREBENEN

Die fka verfolgt die Entwicklung und Konzeption von Architekturen seit 2012. Mit dem Ansatz der Automotive Service Oriented Architecture (Asoa) [3] wurde schon 2014 eine neue Methode für Intra- und Inter-Fahrzeugnetzwerke entwickelt – mit Einfluss auf Funktionsstrategien, -entwicklung und -integration sowie Steuergerätestrukturen. Hinsichtlich zukünftiger Entwicklungen hat die fka die Betrachtungen bereits 2015 nennenswert ausgeweitet und von einer initialen Fokussierung auf logische Funktions- und Steuergeräteebenen gelöst.

Die Architekturentwicklungsstrategie der fka widmet sich technischen Herausforderungen innerhalb des Fahrzeugs und erstreckt sich auch auf andere Technologiesektoren – wie die Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) oder deren Infrastruktur. Auch nicht-mittelbare technische Aspekte werden erfasst, beispielsweise die Nachhaltigkeit von Innovationen

und Ansätzen. Dies funktioniert, weil die verschiedenen Aspekte nicht nebeneinander, sondern miteinander im direkten Wechselspiel betrachtet werden [4].

Oft gibt es mehrere Architekturoptionen. Um diese zu bewerten, werden Qualitätseigenschaften herangezogen, im Bereich der Nachhaltigkeit beispielsweise der Aspekt der Wiederverwertbarkeit oder der erzielbare Nutzen der eingesetzten Ressourcen, **BILD 1**. Um sich den Architekturentscheidungen zu nähern und diese dann mit Qualitätseigenschaften beurteilen zu können, werden vorab Systemebenen definiert, **BILD 2**. Neben einer strukturellen Ebene, die sich vornehmlich Fragen der Mechanik und der Packages stellt, werden auch eine energetische Ebene, die alle Energieträgerformen und Transportvarianten inklusive des Verteil- und Speichernetzes umfasst, eine IKT-Infrastruktur-Ebene mit Kommunikationsnetzen und leistungsstarken Rechensystemen sowie eine logische Funktionsebene unterschieden. Darüber hinaus kann jede Form ortsveränderlicher und ortsfester Systeme in eine Mobilitätsebene zusammengefasst werden.

Die Ebenen beschreiben Teilaspekte eines Gesamtsystems. In realen Systemen stehen sie in Wechselwirkung und in Abhängigkeit voneinander und verändern/beeinflussen sich. So bedeutet etwa eine Ortsveränderung auf der Mobilitätsebene eine Veränderung oder Abhängigkeit auf der energetischen Ebene oder der IKT-Infrastruktur-Ebene.

SZENARIEN FÜR FAHRZEUG UND INFRASTRUKTUR

Anhand von Szenarien, die sich am Fahrzeug und auch der Infrastruktur orientieren, lassen sich Handlungsoptionen für Architekturen veranschaulichen. Die folgenden Szenarien erweitern dabei den Kontext von lokalen über systemweite Intra-Fahrzeuggesichtspunkte bis hin zu Fahrzeuggrenzen und Anwendungsfallgrenzen übergreifende Anwendungen. Die Betrachtung von Zonen- und Zentralsteuergerätearchitekturen werden dabei einbezogen. So können frühzeitig Ansätze zur Verbesserung der Nachhaltigkeit und Widerstandsfähigkeit (Resilienz) von Systemen und Infrastruktur aufgezeigt werden.

BILD 1 Qualitäten für die Architekturbewertung: Diese kann mithilfe des Architecture-Trade-off-Analysis-Method(Atam)-Prozesses oder auch vereinfacht mit exemplarischen Szenarien erfolgen (© fka)

BILD 2 Die Strukturierung der Ebenen von Fahrzeug und Mobilität hilft, gemeinsame Anknüpfungspunkte und Strategien zu identifizieren (© fka)

STEUERGERÄTE- UND ENERGIENETZ

Steuergeräte werden heute für einzelne Fahrzeugsysteme oder Fahrzeugsystemgenerationen entwickelt. Hierbei gibt es eine enge Kopplung an Zulieferer. Gleiches gilt für die Funktion. Das Package, Steckverbinder und Schnittstellen ändern sich kontinuierlich und sind zumeist auch herstellerspezifisch und nicht generisch oder standardisiert. Auch wenn ein Baukastensystem verwendet wird, ist die Gesamtstrategie keine echte Modularität; Austauschbarkeit und Wiederverwendbarkeit sind eingeschränkt.

Die Einführung einer echten Modularisierung und die Übernahme einheitlicher Standards, die vorzugsweise Systemgenerationen-übergreifend angewendet wird, ermöglichen interessante Anwendungsszenarien, insbesondere in Bezug auf Austausch und Wiederverwendung von Komponenten [5]. Dabei ist auch eine stringente Trennung von Hardware und Software vorteilhaft, sowie ein verändertes Maßschneidern der Funktionsanteile, unter anderem in Verbindung mit einer Middleware sowie smarten Sensor- und Aktuatorssystemen.

So werden – sowohl auf der Steuergeräteebene als auch auf der energie-

tischen Ebene – Strategien für Redundant Assembly of Interoperating Devices (Raid) ermöglicht. Diese zeigen ihre Stärke im Verbund und helfen, Ausfälle mit geringen Leistungseinschränkungen zu kompensieren. Zudem werden Systemebenen, zum Beispiel das Energienetz, besser skalierbar. Diese Strategien haben sich nachweislich bei hochverfügbarer IKT-Infrastruktur bewährt. Unterstützt werden kann dies durch eine Zonenarchitektur mit leistungsstarken Zonenrechnern und Zentralrechner-system(-en), **BILD 3**.

DYNAMISCHE UND SYSTEMWEITE SICHERHEIT

Die Automatisierung und der Einsatz mechatronischer By-Wire-Applikationen sind nur zwei Beispiele für zukünftige, sicherheitsrelevante Systeme. Hohe Ansprüche der funktionalen und operativen Sicherheit kommen zum Tragen, wie sie durch die ISO 26262, Sotif oder ähnliches betrachtet werden.

Für viele der eingesetzten Strategien zur Realisierung der Sicherheitsanforderungen fokussiert man sich heute nur auf Teilsys-

BILD 3 Automobil mit Steuergeräten: Zonensteuergeräte (schwarz) sowie Zentralsteuergerät mit einheitlicher Gestaltung (weiß) erhöhen Austauschbarkeit und Wiederverwendbarkeit und vereinfachen langfristig den Engineering-Prozess (© fka)

BILD 4 Das Fahrzeug als „ortsveränderliche Infrastrukturkomponente“ ermöglicht Dual-Use-Szenarien von Komponenten und Systemen, erfordert aber abgestimmte Strategien (© fka)

teme. Als Folge bleiben vor allem funktionale Komplementärpotenziale, die im Fehlerfall eine effiziente Realisierung eines sicheren Verhaltens ermöglichen, unausgeschöpft. Die Absicherung der Teilsysteme ist trotzdem – oder gerade deswegen – anspruchsvoll und aufwendig. Das Systemverhalten und die Absicherungsstrategie sind zur Entwicklungszeit statisch definiert und können nur durch Einsatz aufeinander abgestimmter Komponenten gewährleistet werden, die Bestandteil des Systementwicklungsprozesses waren.

Eine andere Strategie ist die Einführung einer „Selbstwahrnehmung“ auf Komponenten- und Systemebene [3]. Hierbei fließen dynamische Informationen, Fähigkeiten und Betriebszustandsgrößen der Komponenten ein und werden auf eine Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems abgebildet. Beispielsweise mit Runtime Evidence Checks ist eine Entkopplung zwischen der Charakterisierung der Komponente oder eines Teilsystems und der funktionalen Orchestrierung zu erzielen. Der Schwerpunkt der Entwicklung verschiebt sich so auf zwei Aspekte: eine bessere Charakterisierung der Komponentenleistungsfähigkeit (Garantien) und eine bessere Charakterisierung der Bedarfe (Anforderungen). Die Leistungs- und Sicherheitsreserve kann zur Laufzeit ermittelt werden. Auch der vorangehende

Ansatz kann hierbei aktiv genutzt werden, wie etwa durch gezieltes Wear-out Shaping und die Inkaufnahme des Ausfalls von Teilkomponenten mit dem Ziel, eine Überdimensionierung zu verhindern und die Wiederverwendbarkeit zu steigern.

DURCHGÄNGIGE DIGITALISIERUNG

Digitalisierung in Mobilität und anderen Teilen des wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Lebens führt zu einem steigenden Ressourcenbedarf für Rechen- und Kommunikationsnetze. Dies betrifft den Einsatz der Komponenten und Systeme, den Aufbau und die Pflege, aber auch ihren Bedarf an Energie. Hinzu kommt die besondere Bedeutung ihrer Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit, um eine auf Digitalisierung basierte Welt zu betreiben oder deren Ausbau skalierbar zu gestalten.

Während bei einer Vielzahl von Digitalisierungsstrategien die eingesetzten Ressourcen auf spezifischen Anwendungen isoliert gedacht sind, eröffnen sich besondere Chancen in einer technologieübergreifenden Lösung. Denn die im Kontext der Automatisierung benötigten leistungsfähigen Steuergeräte mit hohen Rechenleistungen bleiben in großen Teilen ihres Lebenszyklus ungenutzt. Dabei steht die Rechenleistung – bezogen auf

eine anderweitige Nutzung – am vermeintlich lokal bestmöglichen Ort zur Verfügung, dem sogenannten Point of Presence (PoP).

Beim Vehicular Edge oder Fog Computing werden Fahrzeuge in zwei Betriebszuständen Teil der Cloud – sowohl im mobilen Einsatz als Teil der Mobility Cloud und des Fahrzeugs als auch in stationären Zeiten als Teil der ICT-Infrastructure Cloud, **BILD 4**. So eröffnen sie Potenziale für Synergien und eine optimale Ressourcen- und Energienutzung. Zudem können Rechen- und Kommunikationsnetze entlastet und nicht zentralisiert organisiert werden. Dies bedarf aber einer vollständigen Infrastrukturintegrierbarkeit.

ASPEKTE DER ARCHITEKTUR

Die vorangehenden Szenarien sind als Beispiele gedacht. Sie helfen, die Herleitung der Folgen von Architekturentscheidungen in Hinblick auf und als Grundlage für die Entwicklung nachhaltiger Mobilitätstechnologien zu verstehen und die Perspektiven und Gedankenräume aufzuweiten.

Es lässt sich erkennen, dass insbesondere die Modularisierung und Entkopplung von Einzelgesichtspunkten wesentliche Architekturvorteile aufweisen, die

BILD 5 Um systematische Nachhaltigkeit zu gewährleisten, muss das Anforderungsprofil der Architektur aus dem gesamten Lebenszyklus definiert werden (© fka)

Einfluss auf die Nachhaltigkeit haben. Dies bedarf einer anderen Komponenten- und System-Design-Philosophie. Kooperationen innerhalb der Automobilindustrie, aber auch insbesondere mit anderen Technologien (IKT und Infrastruktur), sind notwendig, wenn eine Durchgängigkeit der Lösungsstrategie angestrebt wird. Dies geht gleichsam nur zu Lasten einer vermeintlich geglaubten Flexibilität, die der Tatsache fehlender Standards und Absprachen geschuldet ist.

Bessere Skalierungseffekte bei der Entwicklung und der Wiederverwendung, aber auch insbesondere die Möglichkeiten einer erhöhten Wiederverwendbarkeit und Reduzierung sind die Folge. Unterschieden werden muss dabei die Wiederverwendung von Komponenten anstelle eines Recyclings (Upcycling, Component Lifetime Utilization) sowie die Mehrfachnutzung (Multi-Purpose, Multi-Use). Dies macht es erforderlich,

beim Entwurf den gesamten Lebenszyklus, auch über Systemgenerationen hinaus, zu berücksichtigen, **BILD 5**.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Relevanz von Architekturentscheidungen, die direkt oder indirekt zu einer verbesserten und umfänglicheren Nachhaltigkeit in der Entwicklung des Automobils, aber auch anderer Technologien beitragen können, sind hier von der fka umrissen worden. Hierzu bedarf es neben der Entwicklung und Ausgestaltung der technischen Maßnahmen vor allem auch einer Bereitschaft zur Kooperation und zu gemeinsamen Anstrengungen.

Vor allem eine breit orientierte, weit-schauende und flexible Architektur macht es möglich, ein nennenswertes Spektrum zu adressieren. Hierbei darf nicht zu kleinschrittig gedacht werden.

Kernherausforderung ist, dass die Architekturentscheidungen Mittel liefern, um gleichzeitig eine Langfristigkeit der Maßnahmen zu gewährleisten. Damit kann eine generationenübergreifende Fähigkeit zur Zusammenarbeit sowie eine Kompatibilität von Lösungen gesichert werden.

Nur wenn die nächsten Architekturen und deren Wechselspiel in der Mobilitätstechnologie langfristig und ambitioniert gesetzt sind, lassen sich technologischer Vorsprung und gleichzeitig eine zielgerechte Fokussierung auf die Herausforderungen unserer Zeit gewährleisten. Die Entscheidungen in der Architektur sind damit wesentliche Garanten – auch für eine nachhaltige Zukunftsfähigkeit.

LITERATURHINWEISE

- [1] Conway, M. E.: How Do Committees Invent? In: Datamation magazine, F. D. Thompson Publications, April 1968, S. 28-31
- [2] Europäische Kommission: Fragen und Antworten: Strategie für nachhaltige und intelligente Mobilität. Online: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/qanda_20_2330, aufgerufen: 21. Januar 2021
- [3] Woopen T.; et al.: Unicaragil – Disruptive Modular Architectures for Agile, Automated Vehicle Concepts. 27. Aachener Kolloquium Automobil- und Motorentechnik, Oktober 2018
- [4] Parnas, D.: On the Criteria To Be Used in Decomposing Systems into Modules. In: Broy, M.; Denert, E. (Hrsg.): Pioneers and Their Contributions to Software Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer, 2001, S. 479-498
- [5] Baldwin, C. Y.; Clark, K. B.: Design Rules. The Power of Modularity. Cambridge, MA, USA: The MIT Press, 2000

READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

Test now for 30 days free of charge:
www.atz-worldwide.com

**VEREDELN SIE
IHR WISSEN.
MIT DEM JOT-NEWSLETTER.**

Am besten gleich registrieren unter:
[www.jot-oberflaeche.de/
aktuell/Newsletter](http://www.jot-oberflaeche.de/aktuell/Newsletter)

Sie wollen wissen, was unter der Oberfläche steckt. Mit dem JOT-Newsletter veredeln Sie Ihr Wissen im Bereich Oberflächentechnik. Praxisnah und anwenderorientiert. Immer aktuell.

ANTRIEB. EFFIZIENZ. LEISTUNG.

Die Automobilbranche steht vor neuen Herausforderungen – die Mobilitätswende erfordert konsequentes Umdenken und technologieoffenes Entwickeln. Als international führendes technisch-wissenschaftliches Fachmagazin für Entscheider in der Antriebsentwicklung und -produktion versteht sich die MTZ als eine Informationsplattform zukünftiger Antriebe – elektrisch und verbrennungsmotorisch. Die MTZ fördert den Informationstransfer zwischen Herstellern, Zulieferern, Dienstleistern sowie Forschungs- und Entwicklungszentren in aller Welt. Nutzen Sie zusätzlich zu den **Printausgaben** das **interaktive E-Magazin** und profitieren Sie von der **einzigartigen Wissensdatenbank des Onlinearchivs mit pdf-Download**.

MTZ

ELEKTRISCHE ANTRIEBE | HYBRIDANTRIEBE | VERBRENNUNGSMOTOREN

www.mein-fachwissen.de/mtz/probe