

1. Einleitung

Im neuen Meilenstein 2035 der F&E-Roadmap des eNOVA Strategiekreises Automobile Zukunft wird unter der Prämisse „Integrierte, nachhaltige und nutzerfreundliche Mobilität durch intelligentes, nahtloses, automatisiertes Zusammenwirken von Fahrzeug, Infrastruktur und Mensch“ beschrieben, dass Fahrzeuge und mitunter auch deren Nutzer aktive Teile eines digital gesteuerten, ressourceneffizienten Verkehrssystems würden, in dem Mobilitätsdienstleistungen über Plattformen abgerufen und durch automatisierte Flotten erbracht werden. Um die Potenziale der Automatisierung der Flotten voll ausschöpfen zu können, werden hohe Anforderungen an die Sicherheit, Verfügbarkeit, Nachhaltigkeit und Kosteneffizienz der Fahrzeuge gestellt.

Diesen Umstand hat eNOVA 2019 in dem Positionspapier „Forschungs- und Entwicklungsbedarfe im Bereich der elektronischen Systeme und Komponenten zur Erfüllung der Sicherheitsanforderungen an das autonome Fahren“ beleuchtet. Darin wird aufgezeigt, dass für die Erbringung der zum automatisierten Fahren notwendigen Perzeption des Umfelds, für die Kommunikation mit Mensch, Fahrzeug und Umwelt, sowie für die daraufhin angepasste Steuerung innerhalb des Fahrzeugs hohe Datenmengen erhoben, verarbeitet und verteilt werden müssen. Der eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft diskutiert vor diesem Hintergrund im vorliegenden Positionspapier mögliche Entwicklungspfade für die elektrische und elektronische (E/E-) Architektur und das Bordnetz der Zukunft, bewertet diese hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Wertschöpfungsstrukturen und zeigt Bedarfe der vorwettbewerblichen Forschung und Entwicklung auf.

2. Hintergrund

Die sichere Bereitstellung von Fahrzeugstandardfunktionen sowie von fortgeschrittenen Fahrfunktionen wird heute mit Assistenzsystemen mit bis zu weit über 100 dezentralen Steuereinheiten gewährleistet, die die E/E-Architektur des Fahrzeuges darstellen. Diese Steuereinheiten werden über insgesamt kilometerlange Kabelwege innerhalb des Fahrzeugs miteinander verbunden, die für die Stromversorgung sowie die Verteilung von Nutzdaten und Fahrzeugsteuerinformationen sorgen. Der zum großen Teil aus Kupfer bestehende Kabelbaum trägt bis zu 50 Kilogramm zum Gesamtgewicht eines Fahrzeugs bei und wird zumeist in Handarbeit gefertigt. Die Gestaltung des Bordnetzes stellt somit einen bedeutenden Faktor in der Fahrzeugkostenkalkulation dar und limitiert das Potenzial struktureller Kostensenkungen.

Um künftig die Sicherheitsanforderungen an automatisiertes Fahren auf den Stufen 4 und 5 realisieren zu können, werden noch weitaus größere Datenmengen im Fahrzeug zu verteilen und einzusammeln sein, die zudem mitunter in Echtzeit weiter zu verarbeiten sind. Daher werden die Effizienzanforderungen an die elektronischen Steuergeräte hinsichtlich Rechenleistung, Energiebedarf, Datendurchsatz und Latenz der Datenübertragung sowie Gewicht und Materialeinsatz weiter immens steigen.

Während manche der etablierten Automobilhersteller die Kapazitäten der Bordnetze ihrer Fahrzeuge entsprechend ausbauen, um mehr und leistungsfähigere Steuergeräte der Zulieferer in die E/E-Architektur integrieren zu können, beschreiten viele, nicht nur die neuen, Fahrzeuganbieter über eine Zentralisierung von Steuerungsfunktionen in Hochleistungschips

den Weg der vertikalen Integration. Dies ermöglicht einerseits eine Verkürzung der Kabelstrecken und Einsparungen beim Stromverbrauch und andererseits die verstärkte Umsetzung von Steuerungsfunktionen in Software in Verbindung mit der Anbindung an eine Cloud, um Aktualisierungen einzuspielen, notwendige Informationen auszutauschen oder bspw. durch den Nutzer gebuchte Zusatzfunktionalitäten des Fahrzeuges zu aktivieren.

Der Pfad der vertikalen Integration ist nicht ohne Weiteres von Fahrzeugplattform zu Fahrzeugplattform übertragbar. Zwar wird bereits an plattformübergreifend skalierbaren Lösungen der Zentralisierung gearbeitet, jedoch sind damit erhebliche organisatorische Herausforderungen verbunden, vor allem dann, wenn Steuergeräte verschiedener Hersteller integriert werden müssen. Dies ist von hoher industriepolitischer Relevanz, weil das differenzierte Produktportfolio der Zulieferindustrie in Deutschland entscheidend zur Sicherstellung höchster Qualitätsstandards bei der Serienproduktion und zur Erlangung von Innovationskraft beiträgt. Daher gilt es mitunter, an bestehende E/E-Architekturen anzuknüpfen und diese in gleichfalls handhabbaren wie strukturierten Ansätzen so weiterzuentwickeln, dass Wertschöpfungsstrukturen erhalten bleiben und weiter ausgebaut werden können.

3. Mögliche Entwicklungspfade der E/E-Architektur und des Bordnetzes

Um den hohen Anforderungen an Sicherheit, Verfügbarkeit, Nachhaltigkeit und Kosteneffizienz der Steuerungstechnologien für das Automobil der Zukunft zu genügen, ist ein tiefgreifender Wandel der E/E-Architektur und infolgedessen des Bordnetzes erforderlich. Die Systeme und Komponenten müssen sich nicht nur selbst überwachen, sondern – wenn nötig – auch „reparieren“ können, sodass der Fahrzeugbetrieb „fail-operational“ bleibt. Dazu kann im Schadensfall die Steuerung einzelner Teilsysteme mittels Methoden der künstlichen Intelligenz zwischen generischen, standardisierten Steuereinheiten verlagert werden, wie im oben genannten Positionspapier von eNOVA 2019 dargestellt. In den herkömmlichen dezentralen und stark mit einander verknoteten E/E-Architekturen wird die Sicherheit im Fahrzeug dadurch hergestellt, dass wichtige Steuerungen redundant oder teil-redundant verbaut werden und so auch physikalisch voneinander getrennt bleiben, beispielweise Fahrerassistenzsysteme von der Navigation und anderen Kommunikationsmodulen wie der Telematik-Box.

Eine aktuelle Analyse des eNOVA Strategiekreises zeigt, dass Automobilhersteller derzeit zwei unterschiedliche Entwicklungspfade für die zunehmende Integration der Steuergeräte verfolgen, diese aber auch mischen und die klassische E/E-Architektur so radikal überdenken:

- Von der Domänenarchitektur zur zentralen Architektur (siehe Abb. 1): Dieser Pfad geht davon aus, dass die Fahrzeugfunktionalität, dargestellt durch verschiedene Steuermodule, in einer Domäne oder einem applikativen Fahrzeugsystem zusammengefasst werden, was in der Abbildung farblich veranschaulicht wird. Das zentrale Domänensteuermodul überwacht die auftretende Kommunikation zwischen den Steuermodulen einer Domäne sowie zwischen Domänen, letzteres jedoch in geringerer Ausprägung als innerhalb der Domäne. Mit steigender Komplexität der Fahrzeugfunktionen und zunehmendem Bedarf an Integration, die für Effizienz sorgt, folgt die Bildung sogenannter Super-Domänen oder Domänen-Cluster. Bei der Weiterentwicklung dieses Architekturtypus werden wenige, dafür aber rechenstarke, Steuereinheiten eingesetzt, die alle Subsysteme zentral zusammenführen. Am Ende einer solchen Integrationskette steht ein Hochleistungsrechner oder „Car Server“, der in Form einer Hyperzentralisierung alle Fahrzeugfunktionalitäten abbildet und berechnet sowie die notwendigen Verknüpfungen herstellt.

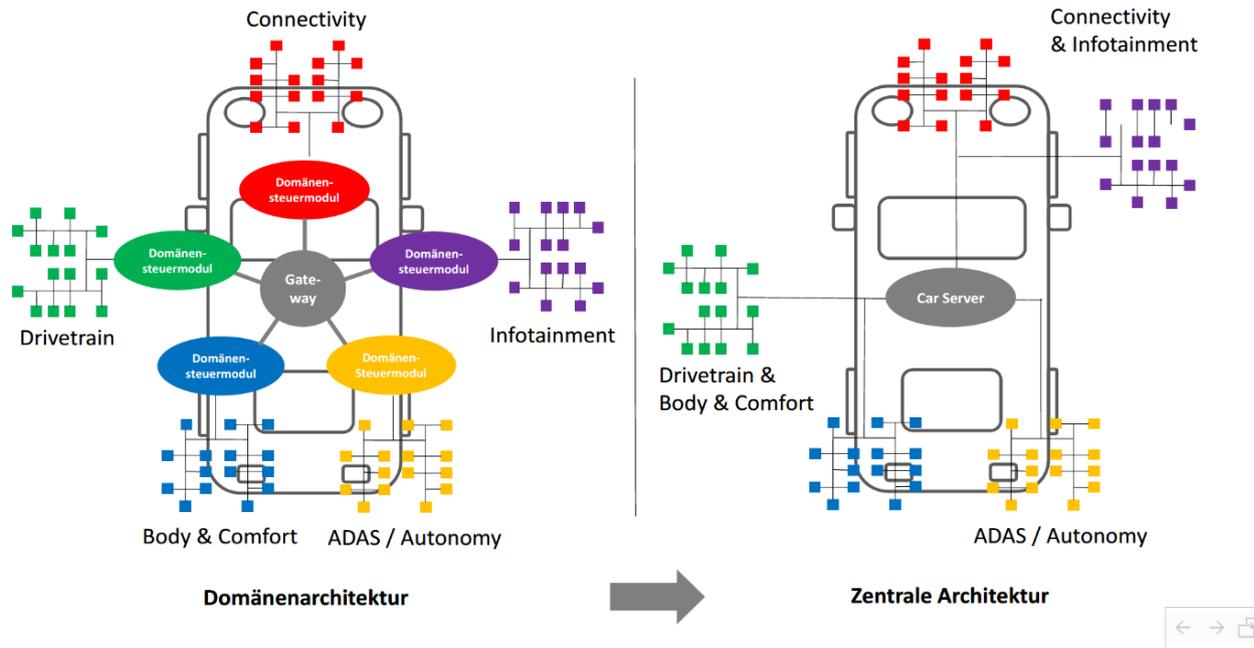


Abbildung 1: Pfad von der Domänenarchitektur zur zentralen Architektur (in Anlehnung an NXP)

- Von der zonalen Architektur zum Distributed Computing (siehe Abb. 2): Die zonale Architektur hat zum Ziel, Kosten und Aufwände für Verdrahtung einzusparen. Veröffentlichungen versprechen 30% und mehr Einsparung an Kupfer für Daten- und Stromversorgungsleitungen. Die elektronischen Komponenten und Systeme des Fahrzeugs werden dazu je nach Lage und Zweck im Fahrzeug topologisch zu Zonen zusammengefasst, die von je einem eigenen Steuermodul aus zugänglich sind. Die Zonen schneiden somit Applikationen auf. Ein Beispiel: Das Blinker-Subsystem mit sehr hohen Anforderungen an die synchrone Blinker-Taktung vorne und hinten erstreckt sich über mindestens zwei Zonen. Des Weiteren wird diskutiert, inwieweit ein zonales Steuermodul eine Zone koordiniert, dort applikativ eingreift und überwacht, oder einzig für den Datenaustausch verantwortlich ist. Dies unterscheidet sich sicherlich von Fahrzeugplattform zu Fahrzeugplattform und hängt davon ab, welche Fahrzeugkategorie bedient werden soll. Ein zonales Steuermodul setzt in jedem Fall jedoch seinen Schwerpunkt auf die Kommunikation mit den Steuermodulen in der Zone sowie mit benachbarten, anderen zonalen Steuermodulen. Die Verbindung zwischen den zonalen Steuermodulen erfolgt dabei über ein Daten-Backbone, z.B. mittels drahtgebundener Ethernet-Kommunikation. Die Anbindung der einzelnen Komponenten, wie Sensoren oder Aktuatoren, innerhalb einer Zone wird unter den applikativen Steuereinheiten, sowie mit dem zonalen Steuermodul selbst, dagegen durch lokale Bussysteme hergestellt. An das Daten-Backbone sind die zentralen Recheneinheiten angebunden, die sich des sehr hohen Datendurchsatzes bedienen bzw. bedienen müssen. Kritische Funktionseinheiten wie das adaptive Fahrerassistenzsystem für automatisiertes Fahren der Stufe 3 oder das Infotainment-System könnten perspektivisch eingekapselt und dann an das Daten-Backbone angeschlossen werden. In der Weiterentwicklung könnte die zonale Architektur künftig in einem sogenannten „Distributed Computing“ münden, damit teure und nicht ressourcensparende Kabelwege bei gleichzeitiger Steigerung der Energieeffizienz und Gewährung von Sicherheit durch die Trennung, Verteilung und der Übergabe wichtiger Funktionen zwischen generischen Steuermodulen reduziert werden können. Jedoch muss dabei bedacht werden, dass die Installation mehrerer Hochleistungsrechner im Fahrzeug

auch eine verteilte Zuführung von Energie erfordern, was zu neuen Herausforderungen bei der Nutzung des eingeschränkten Bauraums führt, auch bzgl. der Abführung von Wärme. Vermutlich wird sich dieser Pfad bei zukünftigen E/E-Architekturen, z.B. für automatisiertes Fahren der Stufen 4 und 5, mit der Übernahme weiterer Funktionalität durch zentrale Recheneinheit(en) (Super Brain) aufweichen.

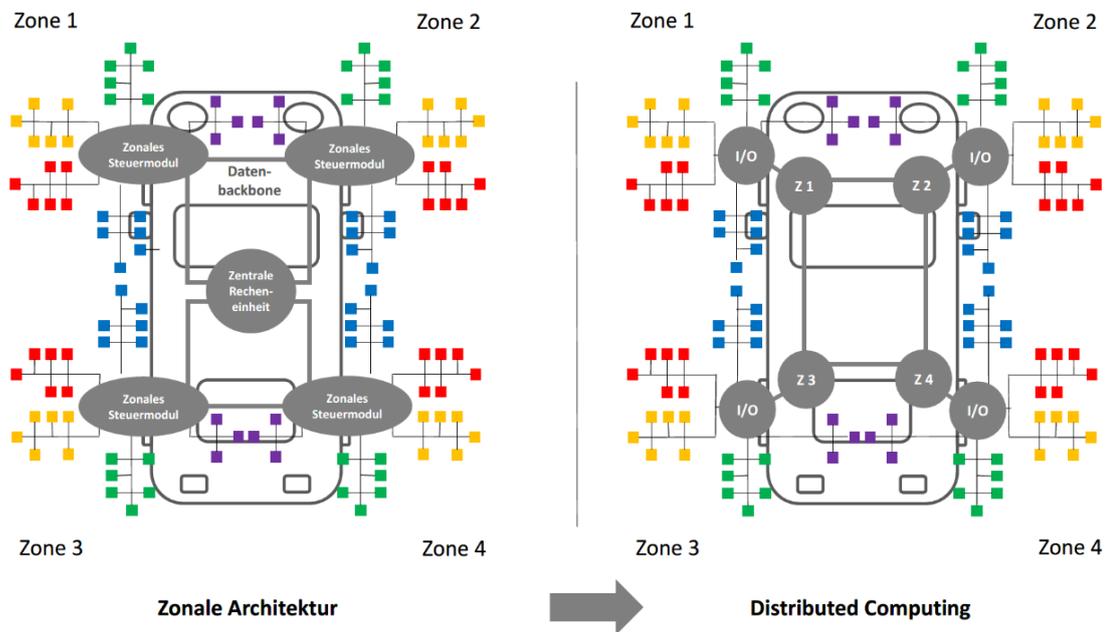


Abbildung 2: Pfad von der zonalen Architektur zum Distributed Computing (in Anlehnung an NXP)

Für beide Entwicklungspfade gilt, dass der Vorteil der Zentralisierung in der Einsparung von Kabelwegen liegt, da jeder Sensor und Aktuator, verteilt im Fahrzeug, erreicht werden muss. Dies eröffnet Möglichkeiten zur automatisierten Fertigung von Kabelbäumen und automatisierten Verlegung der Kabelbäume im Fahrzeug. Beides sind heute noch weitgehend manuelle, zeitintensive Fertigungsschritte. Kürzere Kabelverbindungen eröffnen hier erhebliche Einsparpotentiale durch automatisierbare Fertigungsschritte. Zwar verringert die Einführung von Datenknotenstellen (Ethernet Switch) die Kosteneinsparungen beim Kabelbaum teilweise wieder, die dadurch mögliche Zentralisierung bietet aber erhebliche Vorteile bei der Umsetzung neuer software-basierter Funktionen, da sich so fahrzeugweit einfacher und sicherer realisieren bzw. warten lassen.

Neben Funktionen des automatisierten Fahrens können mit zunehmender Zentralisierung auch Systeme wie das Fahrzeug-Thermomanagement intelligent über Domänen bzw. Zonen hinweg gesteuert werden und so die verfügbare thermische Energie effizient und synergetisch nutzbar gemacht werden. Auch dies geht einher mit reduzierten Herstellungs- und Entwicklungskosten und zeigt sich dem Endnutzer durch gesteigerten Komfort oder niedrigere Betriebskosten.

Zudem bietet die Hyperzentralisierung Vorteile in der Handhabung und Wartung des Systems, in der einheitlichen Datensicherheit und -authentifizierung, sowie zentrale funktionale System- und Funktionsabsicherung und die einfachere Skalier- und Nachrüstbarkeit des Fahrzeugsystems. Mit der Einführung der Integrationsplattformen und der Implementierung fahrzeugweiter Funktionen gehen auch neue Entwicklungsmethoden einher, da häufiger

Software-Updates und Upgrades aufgespielt werden bzw. die Fahrzeugflotte als Entwicklungsplattform mit genutzt werden kann.

Neue Mitbewerber unter den Automobilherstellern verfolgen den Pfad der Zentralisierung der Architektur in besonders ausgeprägter Form. Der Vorteil der zonalen Architektur und perspektivisch des Distributed Computing besteht in einer lokalen Zusammenführung von Daten über kurze Wege zu den Steuergeräten in den Zonen. Bei verteilten Applikationen erfolgt die Verknüpfung über die Zonen hinaus zu anderen Zonen aber erst danach. Dies ermöglicht zwar eine Verringerung des Materialeinsatzes. Weitgehend offen sind jedoch Fragen der Datensicherheit und der funktionalen Sicherheit, sowie die effektiven und effizienten Kommunikationsprinzipien über die Zonen hinweg. Ähnliches gilt für Fragestellungen der Stromverteilung und -steuerung in einer zonalen Architektur, z.B. bezüglich elektronischer, dynamischer Strom- oder -abschaltung in der Zone.

Die beiden geschilderten Entwicklungspfade zeigen also Vor- und Nachteile, was Fahrzeughersteller über kleinere Teilschritte, auch solche, die beide Welten verbinden, nachdenken lässt. Ein Trend ist aber unbestreitbar: Das Zusammenwirken von leistungsstarken und generischen Rechenplattformen (generische Hardware), der Differenzierung der Fahrzeugfunktionalität durch Software und der Anbindung an die Cloud beschleunigt die Zentralisierung der E/E-Architektur im Fahrzeug.

Auch der vermeintliche Vorsprung von neuen Herstellern, die frühzeitig eine Zentralisierung angestrebt haben, relativiert sich angesichts des verbleibenden Bedarfs, Kabelwege zu reduzieren und dazu zentrale und zonale Ansätze zusammenzuführen. Die Analyse des eNOVA Strategiekreises Automobile Zukunft kommt damit zu dem Schluss, dass beide Pfade noch Entwicklungspotenzial aufweisen und Synergien versprechen, die zukunftsweisende Funktionalitäten ermöglichen. Dazu sind weitere Forschungsarbeiten nötig.

4. Handlungsbedarf

Um den steigenden Anforderungen an Sicherheit, Zuverlässigkeit, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit entsprechen zu können, müssen E/E- sowie Software-Architekturen und Bordnetze auch mittelfristig in zusätzlichen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben weiterentwickelt werden. Eine öffentliche Förderung dieser Arbeiten sollte dabei insbesondere auch darauf abzielen, bestehende Wertschöpfungsstrukturen zu stärken und zu mehr Wettbewerbsfähigkeit zu befähigen.

Folgende Forschungs- und Entwicklungsthemen sind dahingehend aus Sicht des eNOVA Strategiekreises als prioritär anzusehen und werden für die öffentliche Förderung empfohlen:

- Leistungsfähige, energiesparsame Chips für die zonale und zentrale Steuerung von anspruchsvollen Fahrfunktionen wie z.B. dem automatisierten Fahren auf Stufen 4/5
- Ausfallsichere, selbstheilende und ressourceneffiziente E/E-Architekturen und Bordnetze mit einer synergetischen Kombination zentraler und zentraler Topologien
- Entwicklung bzw. Adaption IT-artiger Entwicklungsmethoden im automobilen Umfeld zur Steigerung der Entwicklungsgeschwindigkeit und Qualität
- Konzepte für funktionale Sicherheit und Cyber-Security der angesprochenen Fahrzeugarchitekturen
- Auswirkungen von Over-the-Air Updates und entsprechenden Geschäftsmodellen auf die Bordnetz- und E/E-Architektur und Aufbau einer geeigneten Infrastruktur zur Übertragung der Updates

- Einfluss des Einsatzes von künstlicher Intelligenz, 5G und Mobile Edge Computing (MEC) auf den Ansatz des automatisierten Fahrens auf Stufe 4/5 mit korrespondierenden Chips, Bordnetz- und E/E Architekturen.
- Effiziente Energieverteilung, Methoden und Richtwerte
- Forschungs- und entwicklungsbegleitende Standardisierung

5. eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft

Der eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft ist eine Allianz relevanter Industrieunternehmen aus den Schlüsselbranchen Automobil, Batterien, Halbleiterkomponenten, Elektrotechnik, Vernetzung und digitale Karten. Er erarbeitet im vorwettbewerblichen Dialog Empfehlungen für Programme der Förderung von Forschung, Entwicklung und Innovation in den Bereichen Elektrifizierung, Automatisierung und Vernetzung und stimmt diese mit der Wissenschaft und einem erweiterten Kreis von Unternehmen ab. Er konzentriert sich dabei auf das Gesamtsystem Fahrzeug und seine Schnittstellen für Strom, Daten und Verkehr.

Folgende Unternehmen gehören dem eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft als Partner an: Audi, BMW, Bosch, Continental, Elmos, Hella, HERE, Infineon, NXP, Schaeffler und ZF sowie Heraeus und Leoni als assoziierte Partner. eNOVA wird durch einen Wissenschaftskreis unterstützt.

Kontakt:

Bo Habermann, Sprecher von eNOVA, AUDI AG

Prof. Dr. Hans-Christian Reuss, stellv. Sprecher von eNOVA, FKFS, Universität Stuttgart

Dr. Gereon Meyer, Geschäftsstelle eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft bei der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

E-Mail gereon.meyer@vdivde-it.de

www.strategiekreis-automobile-zukunft.de