

Positionspapier

## **Digitale, systemische Transformation für eine mensch- und umweltzentrierte Automobilität: Potenziale, Herausforderungen und Forschungsbedarfe**

3. November 2023

### **1. Einleitung**

Die Zukunft des Automobils ist digital. Durch die Digitalisierung wird das Auto zu mehr als einem Transportmittel. Es wird zu einem mobilen Assistenten, der den Menschen sicher, effizient und klimawie umweltfreundlich von A nach B bringt und der physisches Reisen und virtuelles Erleben miteinander verbindet. Die Digitalisierung erleichtert den Zugang zu Mobilität für alle und ermöglicht attraktive Lösungen zur Personenmobilität und zum Gütertransport, durch die Stadt und Land besser zusammenwachsen. Zugleich erlaubt sie eine Individualisierung des Fahrzeugs hinsichtlich der Bedürfnisse verschiedener Nutzergruppen in der Freizeit und im Rahmen der Arbeit. Das digitalisierte Auto wird auch zu einem Sensor für seine Umgebung und seine Betriebszustände, zu einem personalisierbaren Produkt und zu einem kreislauffähigen Gegenstand. Um all diese Potenziale der Digitalisierung zu realisieren bedarf es einer tiefgreifenden technologischen Transformation der Steuerungsfunktionen des Fahrzeugs. Grundlage dafür bilden neue Soft- und Hardwarearchitekturen mit künstlicher Intelligenz und Big Data sowie zunehmender Vernetzung mit anderen Verkehrsteilnehmern, der Straßen- und Energieinfrastruktur bzw. infrastrukturbasierter Sensorik und der Cloud im Internet der Dinge.

Weltweit nimmt der Wettbewerb um die Vorherrschaft bei der Digitalisierung des Automobils zu. Deutschland und Europa ist dabei noch eine treibende Kraft, droht aber den Anschluss zu verlieren, wenn nicht schnell und konzertiert gehandelt wird. In China und den USA werden mit Hochdruck, Risikobereitschaft und Milliardeninvestitionen Technologien sowie Geschäftsmodelle und Standards beispielsweise für das Robotaxi geschaffen und in den Markt gebracht. Zugleich wird die Vielfalt der per Touchscreen zugänglichen Unterhaltungs- und Serviceangebote zu einem wichtigen Differenzierungsmerkmal. Dass diese Angebote, Lösungen und Standards auch europäischen Werten wie Datenschutz und persönliche Freiheiten entsprechen ist dabei keinesfalls garantiert. Für die Souveränität und Wettbewerbsfähigkeit der deutschen und europäischen Automobilindustrie sowie die Resilienz der Wertschöpfungssysteme ist es essentiell, an die Erfolge im Bereich der Schlüsseltechnologien anknüpfend rasch und kreativ Lösungen und Architekturen der Digitalisierung zu entwickeln und zu erproben. Dazu sind unternehmensübergreifende Kooperationen im Innovationsystem erforderlich, die die Forschung und Innovation in Deutschland und Europa zügig voranbringen. Zugleich müssen Möglichkeiten der Differenzierung und weltweite Marktzugänge der Zulieferer und Hersteller erhalten bleiben, ohne jedoch eine technische Fragmentierung zu erzeugen, die einer integrierten Mobilität entgegenstehen würde. Die Komplexität und die große Tragweite der nötigen Entscheidungen erfordern ein abgestimmtes Vorgehen von Industrie, Forschung und öffentlicher Hand.

Der eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft hat unter der Überschrift „Resiliente, klimaneutrale, kreislauffähige sowie nutzerfreundliche Mobilität durch intelligentes Zusammenwirken von Fahrzeug, Infrastruktur, Umwelt und Mensch“ eine Vision für das Jahr 2035 entworfen. Diese wird im aktuellen Positionspapier „Auf dem Weg zur nachhaltigen und resilienten Mobilität: Handlungsfelder für Forschung, Entwicklung und Innovation“ (2022) genauer umrissen. Im Mittelpunkt steht dabei die Digitalisierung, flankiert von Themen wie alternativen Antrieben und Kreislaufwirtschaft.<sup>1</sup> Aufbauend auf den Positionspapieren zu Software im Auto (2021),<sup>2</sup> zu neuen Bordnetzen und E/E-Architekturen (2020),<sup>3</sup> und zur Sicherheit des autonomen Fahrens (2019)<sup>4</sup> gibt eNOVA im vorliegenden Papier einen umfassenden Überblick über wichtige Funktionen, Potenziale und Herausforderungen der digitalen

---

<sup>1</sup> <https://www.strategiekreis-automobile-zukunft.de/publikationen/enova-position-nachhaltigkeit-resilienz-mobilitaet-1.pdf>

<sup>2</sup> <https://www.strategiekreis-automobile-zukunft.de/files/enova-position-software-im-auto.pdf>

<sup>3</sup> <https://www.strategiekreis-automobile-zukunft.de/files/enova-position-bordnetze-und-fahrzeugarchitektur.pdf>

<sup>4</sup> <https://www.strategiekreis-automobile-zukunft.de/publikationen/enova-whitepaper-elektronische-systeme-und-komponenten-sicherheit-avf-1.pdf>

Transformation des Automobils, seine künftigen software- und hardwareseitigen Architekturen und seine Einbettung in das Internet der Dinge. Daraus ergeben sich konkrete und drängende Forschungs- und Entwicklungsbedarfe, damit verbundene Vorschläge für die Schwerpunkte der öffentlichen Förderung sowie Empfehlungen zur Schaffung der nötigen Rahmenbedingungen. eNOVA beleuchtet dazu auch das europäische Geschehen, insbesondere innerhalb des gemeinsamen Unternehmens für digitale Schlüsseltechnologien (Key Digital Technologies Joint Undertaking, das kürzlich in das Chips Joint Undertaking überführt wurde) und zeigt Möglichkeiten für ein synergetisches Zusammenwirken der nationalen mit der europäischen Forschungs- und Innovationspolitik auf.

## 2. Potenziale der Digitalisierung in der Anwendung

Die Digitalisierung verändert das Automobil im Kern und hat weitreichende Auswirkungen auf unseren Umgang mit Mobilität – von der Sicherheit auf unseren Straßen bis hin zur Art und Weise, wie wir mit unseren Fahrzeugen interagieren. Im Folgenden werden die vielfältigen Vorteile und Potenziale der digitalen Transformation des Autos detailliert dargestellt, einschließlich ihrer maßgeblichen Rolle in der Verkehrssicherheit, Nachhaltigkeit, Kreislauffähigkeit, der Interaktion zwischen Mensch und Fahrzeug, dem Verkehrssystemmanagement und ihrer Integration in das Konzept der Smart City.

**Verkehrssicherheit:** Die Entwicklung und Einführung von Fahrerassistenzsystemen wie ABS/ESP, Spurhalteassistent oder Notbremsfunktion und intelligenten Verkehrssystemen wie der Baustellenwarnung zeigt eindrücklich, wie die Digitalisierung die Sicherheit im Straßenverkehr steigert. Mit der fortschreitenden Vernetzung von Fahrzeugen und Infrastrukturen sowie Umsetzung des automatisierten und autonomen Fahrens unter Nutzung von Big Data und künstlicher Intelligenz in immer größeren Operational Design Domains setzt sich diese Erfolgsgeschichte in Richtung des unfallfreien Verkehrs fort. Die fahrzeugseitige Sensorik, Kontrolle und Aktuatorik ist der menschlichen Wahrnehmung und Entscheidungsfindung zunehmend überlegen, wird weder müde noch leichtsinnig oder fahruntüchtig.

**Effizienz und Nachhaltigkeit:** Die intelligente und prädiktive Steuerung des Fahrzeugs verbessert die Energieeffizienz und Performance im Betrieb, verlängert die Reichweite und verringert die Emissionen von Treibhausgasen und Schadstoffen. Zugleich reduziert eine bessere Kooperation der Fahrzeuge miteinander unnötigen Verkehr, z.B. bei der Parkplatzsuche. Die Einbettung in digitale Mobilitätsplattformen optimiert die Fahrzeugnutzung, während ein kluges Flottenmanagement und Sharing-Angebote für einen zweckoptimierten und bedarfsgesteuerten Einsatz der Fahrzeuge und ein nahtloses Zusammenspiel mit anderen Verkehrsträgern sorgen. Auch ermöglicht die Digitalisierung eine optimierte Integration von Fahrzeugen mit alternativen und elektrischen Antrieben in das Energieversorgungssystem, z.B. durch ein optimiertes Lademanagement.

**Kreislauffähigkeit:** Die Digitalisierung ermöglicht mit einer Selbstüberwachung von Fahrzeugen im Betrieb die frühzeitige Erkennung drohender Systemausfälle sowie eine prädiktive Wartung. Damit wird das Fahrzeug nicht nur sicherer und zuverlässiger, sondern auch langlebiger. Die Auswertung von Betriebsdaten kann zudem wesentlich zur effizienten Wertschöpfung beitragen, weil die Produktion von Ersatzteilen, die Reparatur und weitere Nutzung nicht mehr funktionaler Bauteile besser planbar und vereinfacht werden. Dadurch wird das Automobil effizienter in die verschiedenen Kreisläufe der Produktion, Mobilität und Energie integriert und somit selbst kreislauffähig. Intelligente Update- und Upgrade-Fähigkeit schont zudem Ressourcen und sorgt für eine passgenaue Konfigurierbarkeit. Neue Funktionen können ohne Werkstattaufenthalte und ohne Beeinträchtigung bestehender Sicherheitsstandards und Funktionalitäten im Betrieb getestet werden. Damit wird deren Zulassung vorbereitet und beschleunigt. Die Digitalisierung ermöglicht auch die resiliente Produktion von individualisierbaren Fahrzeugen und Komponenten in dynamischen Wertschöpfungsnetzwerken und weltweit vernetzten Produktionssystemen. Sie hilft, die Leistungsfähigkeit und die Umweltauswirkungen von Materialien, Bauteilen und Systemen über den Produktlebenszyklus zu beobachten und zu dokumentieren.

**Mensch-Fahrzeug-Interaktion:** Ein engeres Zusammenwirken von Mensch und Fahrzeug kann das Reiseerlebnis bereichern und Mehrwerte für Nutzer und Gesellschaft mit sich bringen. Adaptive Oberflächen, multiple Touchscreens und neue Schnittstellen zur virtuellen und augmentierten Realität werden es erlauben, die Fahrzeit mit größerer Qualität und Vielfalt beruflich wie privat zu nutzen, zum Beispiel zum Wissenserwerb, für thematische Reiseführungen und zur Orientierung in neuer

Umgebung, aber auch zum Übergang von realer zu virtueller Teilnahme an Konferenzen, für die Unterhaltung oder für Gaming-Anwendungen. Mittels Steuerung per Sprache oder Gesten kann das Fahrzeug als persönlicher Assistent agieren, der für eine sichere und effiziente Mobilität sorgt, Ältere und Kinder unabhängig an ihr Ziel bringt oder Menschen mit Behinderungen bedarfsgerecht oder universell unterstützt. Große Potentiale liegen auch in der Kombination mit Robotik, z.B. zur Hilfe beim Beladen oder Einsteigen sowie zur Überwachung des Gesundheitszustandes der Mitfahrenden. Mit digitalisierten Fahrzeugen können so ganz neue mobile Angebote in den Bereichen Gesundheit, Nahversorgung und Soziales geschaffen werden, z.B. in Form einer Arztpraxis und eines Supermarkts als Shuttle auf dem Land. Durch den Kauf oder die zeitweilige Miete von Funktionalitäten, Dienstleistungen und digitalen Inhalten ergeben sich neue Geschäftsmodelle.

**Verkehrssystemmanagement:** Digitalisierung optimiert die Koordination von Verkehrsmitteln, nicht nur in der Güterlogistik, sondern auch in der Personenmobilität. Dort beschleunigt sie die multimodale Durchlässigkeit der Verkehrsträger und die Integration des Automobils in das Verkehrssystem und entsprechende Mobilitätsdienstleistungen und Sharing-Konzepte. Wirkung kann das digitalisierte Fahrzeug auch als Schwarmsensor entfalten, wenn es Daten über das Verkehrsgeschehen und Umwelt sammelt und zur Optimierung von Verkehrssteuerung, Navigation und anderen Services bereitstellt.

**Integration in die Smart City:** Als Teil des Internets der Dinge können sich stärker digitalisierte Fahrzeuge mit der städtischen IT-Infrastruktur verbinden und in die „Smart City“ integrieren. Autos könnten im Voraus Parkplätze buchen, und nach Absetzen der Passagiere zum gebuchten Valet-Parkplatz oder der Ladestation navigieren. Dank der Verbreitung von Car-Sharing und effizientem Verkehrsmanagement könnte bisheriger Parkraum für gesellschaftlich nützlichere Zwecke freigegeben werden. So würde das urbane Erlebnis für alle gleichermaßen verbessert und die Stadt insgesamt effizienter und nutzerfreundlicher. Zudem sind in Fahrzeuge in der Smart City nicht nur Fortbewegungsmittel, sondern auch Informationsquellen und -empfänger, die z.B. aktuelle Hinweise zu Veranstaltungen, Sehenswürdigkeiten oder sozialen Events in der Stadt liefern.

### 3. Herausforderungen der Digitalisierung des Automobils

Die Fahrzeugdigitalisierung ist ein hochkomplexes Unterfangen, das die revolutionäre Weiterentwicklung der bestehenden Konstruktions- und Herstellungsprinzipien erfordert und die bisherigen Paradigmen der Optimierung als Innovation infrage stellt. In diesem Abschnitt werden die Herausforderungen der Zusammenarbeit zwischen Akteuren, der technischen Komplexität, des globalen Wettbewerbs, der Unternehmensstrategien, des Umgangs mit Open Source und der Akzeptanz bei Kunden und Bevölkerung thematisiert:

**Zusammenarbeit zwischen Akteuren:** Die klassische Wertschöpfungsstruktur der Automobil- und Zulieferindustrie trifft bei der Digitalisierung auf neue Akteure aus den Bereichen IT und Robotik, die entscheidende Bausteine der Hard- und Software bereitstellen oder neue Produkte entwickeln, die Bestehendes ersetzen. Die beteiligten Disziplinen sind vielfältig und weisen erhebliche Unterschiede bei der Dauer von Innovationszyklen, Infrastrukturbedarfen und Governance-Modellen auf.

**Technische Komplexität:** Moderne Fahrzeuge nutzen massiv mehr Software und Hardware. Deren Wartung, die Sicherstellung ihrer Kompatibilität untereinander und die Einhaltung von Normen und Standards erfordern systemisches und vernetztes Denken in Gesamtarchitekturen, die sich auf das Fahrzeug und die Cloud erstrecken. Zugleich werden Entwicklungsprozesse agiler und schneller, was einen anderen Umgang mit Fehlern und mehr Transparenz erfordert und zugleich Herausforderungen im Bereich des Schutzes von Daten und Systemen vor Manipulationen mit sich bringt. Hierfür gibt es noch zu wenig Fachkräfte.

**Globaler Wettbewerb:** Mit der digitalen Transformation verschärft sich die Abhängigkeit des Automobilsektors von und der Wettbewerb mit globalen Akteuren, die durch schnelle weltweite Skalierung de-facto Standards setzen können. Beispiele sind Big Data- und KI-orientierte IT-Unternehmen aus Nordamerika, die dank einer weniger restriktiven Rechtslage mit Robotaxi-Angeboten und den dazu passenden Geschäftsmodellen auf den Markt drängen, oder durch staatliche Förderung

und Regulierung unterstützte digitale Innovationsakteure aus China.<sup>5 6</sup> Dies erfordert dringend die Schaffung von Standards, welche sich bei Sicherheit und Datenschutz an europäischen Werten orientieren und damit hiesigen Unternehmen Möglichkeiten der Differenzierung bieten.

**Unternehmensstrategien:** Autohersteller reagieren unterschiedlich auf die mit der digitalen Transformation verbundenen Veränderungen. In Reaktion auf die Herausforderungen reichen die Strategien etablierter Akteure von vertikaler Integration, d.h. herstellerspezifischer Produktzulieferung durch teils zum Konzern gehörende Zulieferer, bis zur Zusammenarbeit unter Wettbewerbern. Für die klassischen Zulieferunternehmen stellt die multiple Anpassung an Anforderungen, Anwendungen und Funktionen verschiedener OEMs eine große Herausforderung dar.

**Open-Source:** Die Nutzung der Potentiale der Digitalisierung im Automobil impliziert einen neuen Umgang mit Wissen über Technologien, z.B. mit Open Source-Konzepten, die dazu beitragen können, gemeinsame und nicht fragmentierte Systeme anzubieten. Dies kann die zeitliche Verkürzung und Aufteilung des Entwicklungsaufwands unter Wettbewerbern ermöglichen. Open-Source-Lösungen tragen auch dazu bei, übergreifende gesellschaftliche Bedarfe in der technischen Entwicklung und Anwendung zum Beispiel hinsichtlich der Cybersicherheit und der Datensouveränität zu berücksichtigen, den Energie- und Ressourcenverbrauch zu kontrollieren oder Transparenz als Sicherheitskonzept zu implementieren, indem beispielsweise Remote-Control-Funktionen in komplizierten Fahrsituationen von allen gleichermaßen realisiert werden. Die Umsetzung dieser Konzepte steht aber häufig noch im Widerspruch mit herstellerspezifischen Produktentwicklungen.

**Akzeptanz bei Kunden und Bevölkerung:** Die Akzeptanz digitaler Lösungen im Automobil steht vor diversen Herausforderungen. Zum Teil bestehen Sicherheitsbedenken, die häufig durch eine diffuse Angst vor Hackerangriffen oder Systemfehlern genährt werden. Hinzu kommt die wachsende Sorge um den Datenschutz, da mit der fortschreitenden Digitalisierung immer mehr persönliche Daten erfasst werden. Aber auch die Bedienbarkeit spielt eine Rolle. Nicht jeder Autofahrer ist mit den neuesten Technologien vertraut, weshalb komplexe Benutzeroberflächen auf Ablehnung stoßen könnten. Dazu gesellen sich Bedenken hinsichtlich der Zuverlässigkeit. Wegen potenziell höherer Kosten bestehen auch Vorbehalte, ob digitale Systeme einen Mehrwert für alle bringen, oder nur in Oberklassefahrzeugen zum Einsatz kommen. Aus der Sicht der Bevölkerung kann auch die Ablehnung von etwas Neuem, mutmaßlich Unkontrollierbarem oder von Fremdbestimmung oder vermeintlicher Einschränkung der persönlichen Freiheit dazukommen. Hier gilt es, in Kooperation mit Nutzern frühzeitig Vorbehalte zu erkennen und intuitiv stimmige, digitale Lösungen zu entwickeln.

#### 4. Technische Umsetzung der Digitalisierung des Automobils

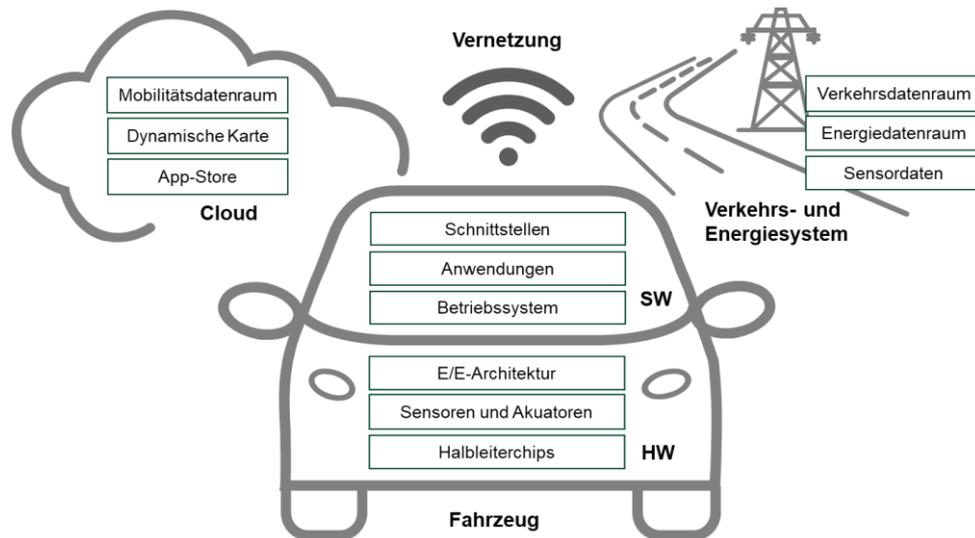
Die Digitalisierung des Automobils fokussiert vorrangig auf die Neukonzeption der Kontroll- und Vernetzungsarchitekturen des Fahrzeugs, sowohl in der Hardware als auch in der Software, und auch in der Vernetzung mit Cloud und Datenräumen (s. Abb.). Diese Überarbeitung ist fundamental, um die potenziellen Anwendungen optimal nutzen zu können und trifft auf die genannten Herausforderungen.

Ein zentraler Aspekt der Digitalisierung ist das Konzept des Software-Defined Vehicle (SDV). Hierbei werden die Innovationszyklen von Software und Hardware im Auto perspektivisch voneinander entkoppelt. Dies erlaubt es, Funktionen, Verhalten und Eigenschaften des Fahrzeugs wie bei Tablets und Smartphones dynamisch per Software-Update und unabhängig von der Hardware zu aktualisieren und anzupassen. Wichtig ist, dass diese Entkopplung zugleich auf sorgfältiger Abstimmung von Schnittstellen und Funktionalitäten zwischen dem elektronischen Bordnetz und den darin eingesetzten Steuergeräten sowie der Betriebssystemsoftware aufeinander beruht (Paradoxon des SW/HW-Co-Designs), sonst müssten bei einem Upgrade Teile der elektrischen und elektronischen (E/E) Architektur angepasst werden. Ein Co-Design von Software und Hardware sorgt auch dafür, die Leistungsfähigkeit, Sicherheit, Effizienz und Zuverlässigkeit des Steuerungssystems zu erhöhen und zugleich eine längerfristige Rückwärts-Kompatibilität und Kreislauffähigkeit zu ermöglichen.

---

<sup>5</sup> Robotaxis-Service von Waymo in San Francisco, CA (USA): <https://waymo.com/sf/>

<sup>6</sup> National Innovation Center for Intelligent and Connected Vehicles in China: <http://www.china-icv.cn/en/>



*Abbildung: Komponenten und Architekturebenen des digitalisierten und vernetzten Automobils und seiner Vernetzung mit den Funktionen und Datenräumen für Mobilität, Verkehr und Energie*

Auf der Hardware-Seite wird der Entwicklungspfad von heutiger verteilter Bordnetzarchitektur über domänenorientierte und zonale Layouts hin zu vollzentralisierten Architekturen künftig die Entkopplung der Software erleichtern und auch Over-the-Air Updates ermöglichen. Dabei werden mehrere Funktionen zu Superfunktionen zusammengefasst, um Energie und Bauteile zu sparen. Allerdings erfordert dies Prozessoren und Rechenbeschleuniger mit hoher Leistungsfähigkeit und offener Befehlssatzarchitektur wie RISC-V. Zugleich muss im Bordnetz für verzögerungsfreie Datenkommunikation, Ausfallsicherheit und Schutz vor Cyberangriffen gesorgt werden.

Auf der Software-Seite sind neue Betriebssysteme, Hardwareabstraktion und Virtualisierung entscheidend. Darauf aufbauend kann dann ein hardwareunabhängiger Software-Stack entstehen, der unterschiedliche Funktionen und Services steuert, die Verbindung zu Datenräumen herstellt und mit Nutzerinnen und Nutzern interagiert. Open-Source-Plattformen ermöglichen es dabei, Innovation zu beschleunigen, Kosten einzusparen, Standards zu setzen, Vertrauen herzustellen und Flexibilität zu ermöglichen, implizieren aber eine Kooperation von Wettbewerbern und eine Einigung auf gemeinsame Standards.

Das Co-Design von Software und Hardware spiegelt sich in einer Vielzahl von integrierten Lösungen wider. Beispiele sind der passgenaue Zuschnitt von Algorithmen auf die Datenfusion einer Sensorsuite zur Umfelderkennung, die Echtzeitfähigkeit elektronischer Steuerungsfunktionen wie Lenken, Bremsen und Beschleunigen oder das Vermögen von Hardware und Software, Ausfälle etwa bei der Datenkommunikation zu erkennen und kompensieren.

Weitere Anwendungsfälle einer integrierten Entwicklung von Software und Hardware ergeben sich aus modularen Fahrzeugkonzepten, die Reparaturen, Wiederverwertung und Upgrades von Chassis, Antriebsstrang, Energieversorgung und anderen Komponenten erleichtern. Technische Veränderungen, wie zum Beispiel die Montage neuer Reifen, einer Dach-Box oder künftig möglicherweise eines Roboterarms, sollten vom Fahrzeugsystem auch softwareseitig erkannt, geprüft, kalibriert und freigegeben werden.

Die Anwendung künstlicher Intelligenz (KI) bestimmt die Funktionalität des SDV entscheidend. So hängt die Fähigkeit von automatisierten Fahrzeugen, auch komplexe und ungewöhnliche Verkehrssituationen zu bewältigen, maßgeblich von der Zuverlässigkeit der KI, der Robustheit der dahinterliegenden Algorithmen und der Qualität der verwendeten Daten ab. Die KI wird bei höherer Komplexität in die Cloud ausgelagert sein, da Rechenressourcen im Fahrzeug zunächst noch begrenzt sind. Perspektivisch wird sie aber direkt auf einzelne Controller zugreifen, um verzögerungsfrei „at the edge“ wirksam zu sein. Eine ausreichende Erprobung von KI-Systemen ist essentiell, um die für die Industrialisierung erforderliche Vertrauenswürdigkeit und Zertifizierbarkeit sicherzustellen.

Außerdem kombinieren viele neue Anwendungen Funktionen im Fahrzeug mit Funktionen in der Cloud, um signifikante Verbesserungen in der Benutzbarkeit für die Benutzer der Fahrzeuge, aber auch für die Effizienz und die Umweltverträglichkeit zu bekommen. Beispiele sind das Optimieren von Lade-Aufenthalte bei elektrischen Fahrzeugen durch online-Verwendung von Informationen aus der Cloud über Verkehrszustand, Ladestationen-Verfügbarkeit, kostengünstigste Charging-Dienste und die Verbindung zu Bezahlungsanbietern für Keyless-Charging. Damit ist es erforderlich, unterschiedliche Software-Entwicklungsmodelle zu kombinieren und zu integrieren

Datenaggregation ist für die Funktionalität des Software-defined Vehicle unabdingbar. Die Qualität der Trainingsdaten bestimmt die Zuverlässigkeit der KI-gestützten Entscheidungsfindung maßgeblich. Dabei könnten Daten aus verschiedenen Quellen, einem Mobilitätsdatenraum wie Catena-X, infrastrukturseitiger Sensorik oder von anderen vernetzten Fahrzeugen, stammen. Noch ist offen, ob und inwiefern bestehende Steuerungsarchitekturen wie AUTOSAR, eine aktuell weltweite Partnerschaft zur Entwicklung einer offenen Server-Client-Architektur, dafür adaptiert werden können.

Die Digitalisierung ist nicht zuletzt an sich ein datengetriebener Entwicklungsprozess. Daten sind dafür unabdingbar, und es gilt zu unterscheiden zwischen Daten für die Entwicklung (Verifikation) und Daten für die Freigabe (Validierung, Zertifizierung).

Um die Komplexität der Entwicklungsprozesse zu beherrschen, die sich durch die zahlreichen Varianten eines Fahrzeugs nochmals vervielfacht, werden Entwicklungswerkzeuge benötigt, die automatisierte Generierung, Tests und Over-the-air-Verteilung von Code ermöglichen und unterstützen. Diese Werkzeuge müssen in der Lage sein, die Daten des Entwicklungs- und Freigabeprozesses zu verwalten und integrieren.

## **5. Europäische Plattform Software-Defined Vehicle bzw. Vehicle of the Future**

Die im eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft zusammengeschlossenen Unternehmen begrüßen die Initiative zur Schaffung einer europäischen Plattform für SDV, an der viele der eNOVA-Partner selbst seit Beginn beteiligt sind. Die von den drei Branchenvereinigungen INSIDE-IA, EPoSS und AENEAS angeregte Plattform hat 2023 bereits zu ersten Fokusthemen des gemeinsamen Unternehmens für digitale Schlüsseltechnologien (Key Digital Technologies/Chips Joint Undertaking) geführt, und soll sich in den kommenden Jahren unter der Überschrift „Vehicle of the Future“ mit weiteren software- wie hardwareseitigen Themen und deren Co-Design und Integration befassen. Dazu ist es geplant, eine gemeinsame Referenzarchitektur für die Fahrzeugdigitalisierung zu beschreiben, eine mehrjährige Roadmap zur Entwicklung der nötigen Technologien und modularen Bausteine aufzustellen, diese in den beteiligten Unternehmen umzusetzen sowie Empfehlungen für die Definition weiterer Ausschreibungsthemen der EU und der Mitgliedsstaaten abzustimmen. Zugleich soll ein offenes und transparentes Ökosystem für vorwettbewerbliche Forschung und Entwicklung zu Software wie Hardware im Automobil und für die Erstellung der nötigen Entwicklungswerkzeuge aufgebaut werden, das eine effektive und dauerhafte Vernetzung von Unternehmen und Forschungseinrichtungen entlang der Wertschöpfungskette und unter Konkurrenten ermöglicht, europäische Lösungen propagiert und Bezüge den europäischen Partnerschaften für automatisiertes Fahren (CCAM) und emissionsfreie Mobilität (2Zero) herstellt. Kohärenz und Kontinuität zwischen den Aktivitäten sind Schlüsselfaktoren dafür, in kürzester Zeit ein wettbewerbsfähiges europäisches SDV zu erreichen. Zudem muss auf hochrangiger Ebene die Abstimmung mit europäischer Kommission und Mitgliedsstaaten gesucht werden, die Fragen der Software- und Hardware-Entwicklung sowie deren Integration betrifft und die künftigen Anwendungen des SDV beim automatisierten Fahren und bei Fahrzeugen mit alternativen Antrieben im Blick behält. Der neu eingerichteten Coordination and Support Action Federate kommt dabei eine Schlüsselrolle zu.

Aus der Sicht von eNOVA ist eine umfassende Unterstützung dieser Plattform und der von ihr entwickelten, zueinander komplementären und aufeinander aufbauenden Fokus-Themen für Software und Hardware im Arbeitsprogramm des KDT/Chips JU auch aus Deutschland entscheidend für den Erfolg der Initiative. Für 2024 sind dies Themen in den Bereichen “Service Oriented Framework for the Software Defined Vehicle of the Future” und “High Performance RISC-V Automotive Processors”.

## 6. Forschungs- und Entwicklungsbedarfe

Die folgenden Forschungs- und Entwicklungsbedarfe sind aus der Sicht von eNOVA für die digitale Transformation des Automobils und das Software-Defined-Vehicle vordringlich:

### Software-Architekturen:

- Entwicklung und Erprobung hardwareunabhängiger Softwarestacks
- Entwicklung und Erprobung von modularen Engineering Tool-Chains, die den gesamten Entwicklungs- und in-Service Lebenszyklus von SDV abdecken
- Entwurf von Schnittstellen und Standards des SDV, analog zu PC-Hardware
- Einbindung, Erprobung und Zertifizierung von künstlicher Intelligenz „at the edge“
- Einbindung cloudbasierter Simulationsmodelle als digitale Zwillinge
- Verfügbarkeit von Software und Services und Backups bei Datenausfall
- Fragmentiertes HW/SW Co-Design: HW/SW im Sensor/Actor ermöglicht SW in der Steuereinheit

### Hardware-Komponenten:

- Entwicklung von Prozessoren für High-Performance Computing
- Abstimmung von Low-Power neuromorphe Chips auf Hardware und Software
- Identifikation neuer, effizienterer Sensortypen (z.B. eventbasierte Kameras)
- Nutzung von Quantentechnologien in der Sensorik
- Optimierung von Sensor-System-Clustern bzgl. Kosten, Effizienz, Latenz und Safety of the intended function (SOTIF)
- Vorausschauende Wartung und Lebensdauer

### E/E-Architektur:

- Erweiterung der E/E-Architektur um eine Rechenleistung in der Cloud
- Transformation der E/E-Architektur zu zunehmend zentralisierten und zonenbasierten Layouts
- Verortung der domainenbasierten Fahrzeugfunktionen in der zentralen Architektur
- Abstimmung von Edge Computing in Sensoren und Aktuatoren auf neue E/E-Architekturen
- Steigerung der Energie- und Dateneffizienz sowie Zuverlässigkeit der Elektronik

### Robotische Funktionen und Mensch-Technik-Interaktion:

- Vernetzung von Fahrzeugsystemen, zwischen Fahrzeugen, zur Verkehrs- und Energieinfrastruktur sowie der Cloud für übergreifende, kooperative und prädiktive Funktionen
- Integration von Robotik-, Kobotik- und Mobotikfunktionen
- Benutzerschnittstellen und Kommunikationsstrategien für eine intuitive, zuverlässige Interaktion von Mensch und Fahrzeug unter Berücksichtigung aller Personen-/Nutzergruppen
- Sensorik zur Innenraum- und Fahrerzustandsüberwachung

### Zuverlässigkeit, Betriebsfestigkeit und Nachhaltigkeit

- Verfahren zur Ermittlung des „Remaining useful life“
- Auf Nutzer zugeschnittene Algorithmen und Funktionen zur Lebensdauerhöhung, Effizienzverbesserung und Komforterrhöhung (u.a. individueller Lade- / Fahrmodus, angepasste Wartungsintervalle)
- Safety of the intended function (SOTIF)
- Nutzung von SDV für die Entwicklung kreislauffähiger Fahrzeuge auch mittels geeigneter Entwurfs- und Designmethoden

### Datensicherheit des Fahrzeugs und der Schnittstellen zur Cloud:

- Verfahren der Cyber Security auf allen Ebenen von Fahrzeug, Cloud und Daten
- Verfahren der Authentifizierung von Komponenten
- fälschungssichere Dokumentation von Komponenten während des Lebenszyklus
- ggf. Quantenkommunikation und/oder Quantenverschlüsselung
- Verfahren der Datenkompression und Minimierung notwendiger Daten-Streams zur Energieeinsparung;
- Berücksichtigung und Messbarkeit der Nachhaltigkeit von Datenströmen

- Systemverfügbarkeit/Durchgängige Konnektivität V2X und fall-back Optionen
- Interoperabler Datenaustausch (Protokolle, Formate etc.) und Data Governance

#### **Test/Validierung:**

- Verfahren der Validierung und Qualifikation unter Berücksichtigung flexiblerer und modularer Nutzung von Komponenten
- Validierungs- und Zertifizierungskonzepte und -tools für automatisiertes Fahren in unterschiedlichen Operational Design Domains, die sowohl die Entwicklungs- als auch die Betriebsphase mit notwendigen korrektiven und verbessernden Over-the-air-Updates unterstützen. Das beinhaltet auch Tests und Online-Validierung von Komponenten zur Plausibilisierung und für die Zulassung.

#### **Standardisierung:**

- Entwicklungsbegleitende Standardisierung der vorwettbewerblichen Entwicklungen, zur Erhöhung von Interoperabilität und Cyber-Security

### **7. Förderpolitische Rahmenbedingungen**

Um die Forschung und Entwicklung im Bereich der digitalen Transformation des Automobils unterstützend zu begleiten, sind nach Einschätzung von eNOVA folgende Rahmenbedingungen ausschlaggebend:

- Abstimmung nationaler Förderschwerpunkte mit europäischen Initiativen für Software und Hardware im Automobil wie Software Defined Vehicle (SDV) bzw. Vehicle of the Future (VoF).
- Unterstützung bei der Standardisierung von Schnittstellen, z. B. für Open Source-Modelle, um ein sicheres Gesamtsystem zu schaffen, das herstellerseitige Differenzierung zulässt,
- Standards für Vernetzung Car2X/Car2Home etc.-Anwendungen
- Aufbau von verlässlichen, ständig verfügbaren Infrastrukturen für die Vernetzung und Cloudservices
- Schaffung eines Rechtsrahmens für die Datensouveränität, Datenschutz und Privatsphäre, Cyber Security sowie für Tests und Zulassung neuer Architekturen, Updates von Funktionen over-the-air und Upgrades von neuen Komponenten und Systemen
- Schaffung eines übergreifenden Rechtsrahmens für den harmonisierten Zugriff auf Fahrzeugdaten zwischen allen Beteiligten
- Internationale Harmonisierung der Datenerhebung und des Datenaustausches
- Entwicklung und Aufbau einer intelligenten Straßeninfrastruktur, welche das automatisierte Fahren unterstützt
- Einbindung der Bevölkerung in die Entwicklungs- und Innovationsprozesse

### **8. eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft**

Der eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft ist eine Allianz relevanter Industrieunternehmen aus den Schlüsselbranchen Automobil, Batterien, Halbleiterkomponenten, Elektrotechnik, Vernetzung. 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 dessen Schnittstellen für Strom, Daten und Verkehr.

Folgende Unternehmen gehören dem eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft als Partner an: Audi, AVL, BMW, Bosch, Continental, Elmos, FORVIA HELLA, Infineon, NXP, Schaeffler, VALEO, Vitesco Technologies und ZF. eNOVA wird durch einen Wissenschaftskreis unterstützt.

eNOVA ist im Lobbyregister des Deutschen Bundestags registriert.

#### **Kontakt:**

Kerstin Mayr, stellv. Sprecherin von eNOVA, AVL Deutschland GmbH

Dr. Gereon Meyer, Geschäftsstelle eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft

bei VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

E-Mail [gereon.meyer@vdivde-it.de](mailto:gereon.meyer@vdivde-it.de), Webseite [www.strategiekreis-automobile-zukunft.de](http://www.strategiekreis-automobile-zukunft.de)