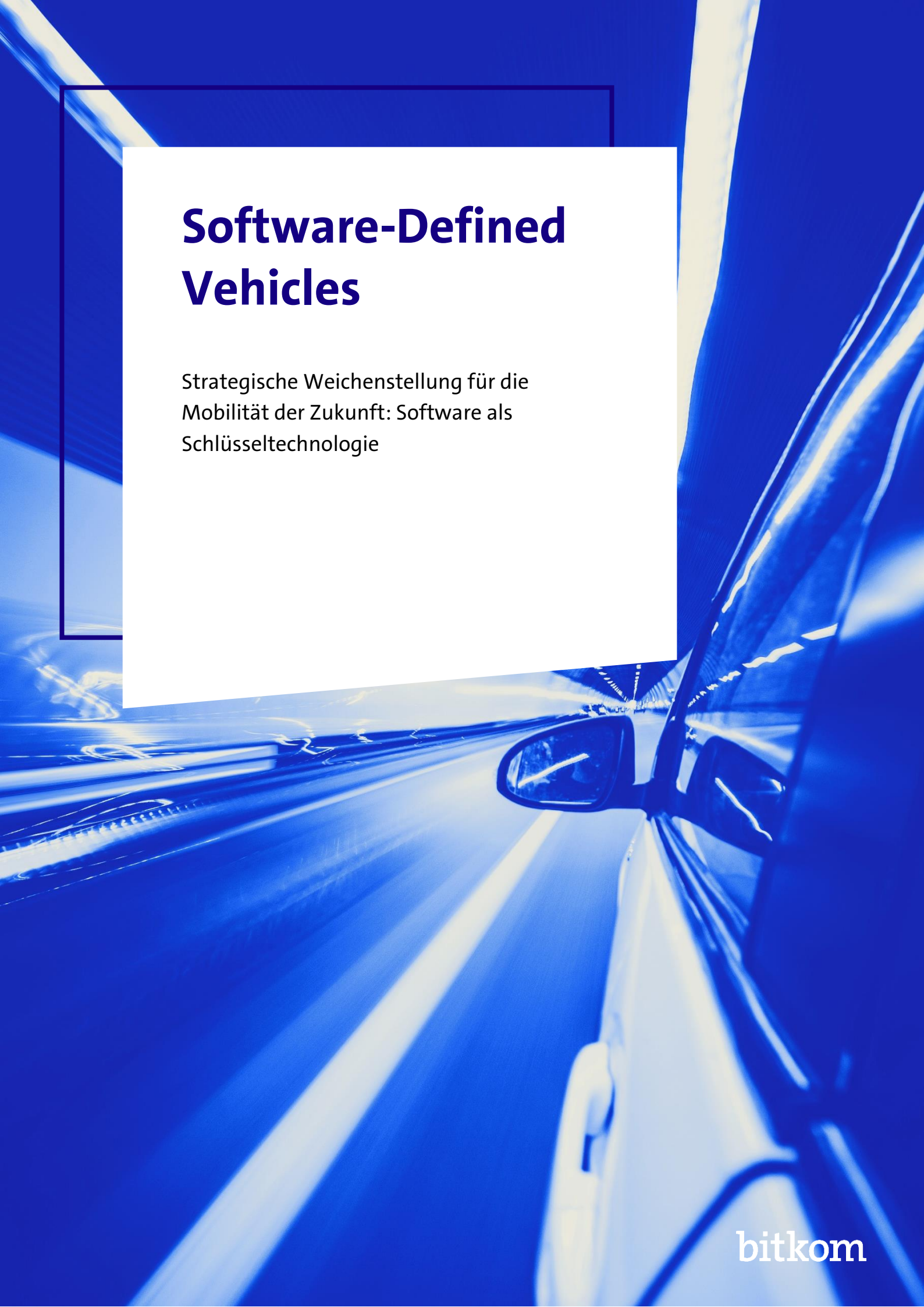


Software-Defined Vehicles

Strategische Weichenstellung für die Mobilität der Zukunft: Software als Schlüsseltechnologie

bitkom

Inhalt

1 Ausgangslage 3

2 Das Wichtigste 3

3 Was ist ein SDV? 4

4 Nutzen des SDV 5

4.1 Chancen & Risiken für den Standort Deutschland und Europa 5

4.2 Vorteile für Fahrzeugnutzer 8

4.3 Vorteile für Hersteller und Zulieferer 10

5 Handlungsbedarf für die Politik 11

6 Use Cases 19

7 Anhang 21

7.1 Technologische Grundlagen des SDV 21

7.2 Grundlegende Merkmale 21

1 Ausgangslage

Während der Übergang von der Kutsche zum Auto und vom Verbrennungsmotor zu elektrischen Antrieben bereits große Umwälzungen mit sich brachte, besitzt das Software-Defined Vehicle (SDV) das Potenzial, die Branche noch fundamentaler zu verändern – insbesondere durch die Verlagerung von Wertschöpfung hin zu Software und neuen, digitalen Ökosystemen. Die europäische Automobilindustrie befindet sich mitten in diesem Wandel. Die Transformation hin zum SDV erfordert nicht nur technologische Innovationen, sondern auch tiefgreifende organisatorische und regulatorische Anpassungen. Die Transformation markiert eine entscheidende Zäsur in der Automobilindustrie. Gleichzeitig ist sie eine zentrale Herausforderung und Chance für die künftige Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands und Europas.

2 Das Wichtigste

- **Strategische Bedeutung der Transformation:** Die europäische Entwicklung softwaredefinierter Fahrzeuge ist für Europa von zentraler strategischer Bedeutung, da sie über digitale Souveränität, technologische Wettbewerbsfähigkeit und neue Wertschöpfungsketten in der Automobilindustrie entscheidet. SDVs eröffnen enorme Chancen – von neuen Geschäftsmodellen über Effizienzsteigerungen bis hin zu kundenzentrierten Innovationen.
- **Anpassung der Typgenehmigung und digitale Fahrzeugakte:** Bestehende Typgenehmigungsregelungen stoßen bei SDVs an ihre Grenzen und müssen dringend an funktionsorientierte, technologieoffene Fahrzeugarchitekturen angepasst werden. Eine digitale Fahrzeugakte ist dabei unerlässlich, um eine transparente, überprüfbare und interoperable Dokumentation von Hard- und Software über den gesamten Fahrzeuglebenszyklus sicherzustellen.
- **Regulatorische Herausforderungen für den Fahrzeuglebenszyklus:** Die fortschreitende Digitalisierung bringt neue Herausforderungen für Sicherheit, Funktionalität und Interoperabilität mit sich. Regulatorische Rahmenbedingungen müssen daher frühzeitig die langfristige Nutzbarkeit und Unterstützung von SDVs gewährleisten.
- **Bedeutung von Zusammenarbeit und Open Source:** Enge Zusammenarbeit in Open-Source-Projekten, die die europäische Automobilindustrie in den Mittelpunkt stellt,stellt ist entscheidend, um Interoperabilität zu fördern, Entwicklungsaufwände zu reduzieren und firmenübergreifende Synergien zu nutzen. Da traditionelle Standardisierungsprozesse zu langwierig sind, muss die gemeinsame Softwareentwicklung politisch unterstützt und rechtlich klar geregelt werden.
- **Herausforderungen für Safety und Security:** Die Transformation zu softwaredefinierten Fahrzeugen stellt die bisher hardwarezentrierten Sicherheits-

und IT-Standards vor große Herausforderungen. Um Innovationsfähigkeit und Sicherheit zu vereinen, sind eine engere Verzahnung von Safety und Security sowie neue, anpassungsfähige regulatorische Rahmenbedingungen dringend notwendig.

3 Was ist ein SDV?

Das Konzept des SDV markiert einen paradigmatischen Wandel in der Automobilentwicklung: Software wird von der Hardware entkoppelt, sodass Fahrzeug-Features durch Software-Upgrades bereitgestellt oder angepasst werden können. Technisch wird dies unter anderem über zentralisierte Softwarearchitekturen erreicht.

Während mechanische, elektrische und hydraulische Funktionen in konventionellen Fahrzeugen durch verteilte, dezidierte Steuergeräte geregelt wurden, setzt das SDV auf serviceorientierte Architekturen, die eine zonenbasierte oder vollständig zentralisierte Steuerung durch High Performance Computer (HPC) vorsehen. Diese Architektur ermöglicht eine effizientere Funktionskoordination, erleichtert Software-Updates und optimiert die Integration sowie Interaktion aller Systeme.

Moderne Rechenarchitekturen bilden die Grundlage für essenzielle Fahrzeugfunktionen. Die flexible Verwaltung von Onboard- und Offboard-Software eröffnet völlig neue Möglichkeiten zur Optimierung und Individualisierung von Fahrzeugen. Dies verbessert das Benutzererlebnis über die gesamte Lebensdauer hinweg erheblich und sorgt für eine kontinuierliche Weiterentwicklung durch Software-Updates und -Upgrades – ein entscheidender Mehrwert für die Branche und Verbraucherinnen und Verbraucher.

Das SDV als Treiber tiefgreifender Branchenveränderung

In der aktuellen politischen Diskussion wird der Begriff Software-Defined Vehicle häufig als Synonym für eine Open-Source-Softwarelösung verwendet, die aktuell in der EU entwickelt wird.[1] Das SDV-Konzept geht aber weit über diesen Ansatz hinaus. Mit der technischen Transformation hin zu softwaredefinierten Fahrzeugen geht ein tiefgreifender kultureller Wandel in der Automobilindustrie einher. Die traditionellen, hierarchischen Beziehungen zwischen OEMs und Tier-1-Zulieferern – geprägt von klassischen Lastenheften, strikten Einkaufsprozessen und klarer Trennung zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer – weichen zunehmend einem partnerschaftlichen, kollaborativen Ansatz. Entwicklungsprozesse finden heute stärker auf Augenhöhe statt, mit dem gemeinsamen Ziel, funktionierende Software in iterativen Entwicklungszyklen schnell auf die Straße zu bringen. Open Source spielt dabei eine zentrale Rolle: Statt jeder für sich, entwickeln viele Akteure nicht-differenzierende Software gemeinsam. Entwicklungszyklen werden kürzer, agiler und sind durch kontinuierliche Updates faktisch nie abgeschlossen. Die Software eines Fahrzeugs ist

[1] Industrial Action Plan for the European automotive sector, European Commission

damit kein Endprodukt mehr, sondern ein dynamischer, permanent weiterentwickelbarer Bestandteil. Diese neue Denke verändert nicht nur Prozesse, sondern auch Rollenbilder, Verantwortlichkeiten und die gesamte Zusammenarbeit innerhalb des automobilen Ökosystems. Dies birgt neue Chancen und Risiken für alle Akteure und eröffnet neue Handlungsfelder.

4 Nutzen des SDV

4.1 Chancen & Risiken für den Standort Deutschland und Europa

1. Die doppelte Transformation als Herausforderung und Chance

Die europäische Automobilindustrie steht vor der doppelten Transformation: einerseits der Umstellung auf nachhaltige Antriebstechnologien, andererseits der Digitalisierung der Fahrzeuge. Diese doppelte Komplexität belastet etablierte Marktteilnehmer stärker als neue Wettbewerber, da sie mit über viele Produktlebenszyklen gewachsenen Fahrzeugarchitekturen und etablierten Zulieferstrukturen arbeiten. Big-Tech-Unternehmen und neue Marktakteure insbesondere aus den USA und China agieren mit erheblichen Vorteilen:

- Greenfield-Ansätze ermöglichen flexiblere Softwarearchitekturen.
- Kürzere Entwicklungszeiten und gezielteres Sourcing für High-Performance-Computer (HPC) und RISC-V basierte CPUs sichern technologische Vorreiterrolle.
- Die Finanzkraft insbesondere von kapitalstarken Technologieunternehmen ermöglicht langfristige Investitionen in datengetriebene Geschäftsmodelle, auch in Verlustphasen.

Wie auch der Draghi-Report zur Wettbewerbsfähigkeit Europas unterstreicht, sollte sich Europa in verschiedenen Bereichen gezielt vorbereiten und gemeinsame europäische Projekte fördern, um den Herausforderungen durch Trends und Anforderungen im Bereich Software-Defined Vehicles erfolgreich zu begegnen.[2] Dazu gehören beispielsweise die Adaptionen bestehender Regulierungen, die Definition von Regeln für neue Lebenszyklus-Systeme, die Anpassung von Geschäftsmodellen sowie der Aufbau von Kompetenzen und von neuen Technologien. Zudem muss die Stärkung des europäischen Marktes mit den bereits laufenden Initiativen und Förderprogrammen abgestimmt werden.

[2] Draghi-Report, Part B, Section 1, Kapital 6

2. Digitale Souveränität als Schlüssel zur Wettbewerbsfähigkeit

Die zunehmende Bedeutung von Software in Fahrzeugen erweitert das Feld der Wettbewerber erheblich. Technologieunternehmen nutzen ihre Strategien – z. B. kostenlose Software im Austausch gegen Daten – und könnten so die Führung in wichtigen Teilen der Wertschöpfungskette übernehmen. Dies kann bedeuten, dass Europa seine digitale Souveränität zu verlieren droht. Es ist essenziell, eigene Ambitionen zu formulieren und umzusetzen, etwa durch:

- Klar definierte Ziele wie in Japans Mobility Digital Transformation Strategy. Japanische OEMs streben einen globalen Marktanteil bei SDVs von 30 Prozent30% in 2030 an. (30 Prozent% SDVs bis 2035 beibehalten).[3]
- Investitionen in Ausbildung und Forschung, um die digitale Kompetenz der Arbeitskräfte zu stärken.
- Standardisierungsinitiativen, um proprietäre und inkompatible Lösungen zu vermeiden.
- Bereitstellung von Wagniskapital und erleichtertem Zugang zu Finanzierungen, um innovative Lösungen gezielt zu fördern.

3. Revolution der Wertschöpfungsketten

Die Einführung des SDV verändert nicht nur die Fahrzeuge – es hat Auswirkungen auf die gesamte Struktur der Branche. Traditionelle Geschäftsmodelle werden von neuen Ökosystemen abgelöst, die enge Kooperationen zwischen Automobilherstellern, Fahrzeugzulieferern, Softwareentwicklern, Halbleiter-, Telekommunikationsunternehmen und anderen Akteuren erfordern.

- Strategische Rolle der Halbleiterindustrie: Halbleiter werden zu einem entscheidenden Faktor für Innovation und Wettbewerbsfähigkeit. Modulare Chiplet-Architekturen ermöglichen dabei flexible und kosteneffiziente Lösungen für die komplexen Rechenaufgaben in SDVs. Engpässe und technologische Fortschritte in diesem Bereich haben direkten Einfluss auf die Produktionskapazität und die Funktionalität moderner Fahrzeuge. Ergänzend dazu entwickelt sich in der Halbleiterindustrie die erste Open-Source Chip Revolution mit RISC-V, die insbesondere in Forschungseinrichtungen Anklang findet – diese historische Chance gilt es zu nutzen.
- Auf- und Ausbau von Software- und KI-Kompetenz: Für kurze Entwicklungszyklen, zertifizierbare Software-Produkte sowie für die Entwicklung autonomer Fahrfunktionen oder generativer Modelle für die Interaktion mit den Fahrzeugnutzern.
- Veränderung der Lieferantenbeziehungen: Partnerschaften werden stärker von langfristigen Allianzen und gemeinsamen Entwicklungsprojekten geprägt, anstelle traditioneller Lieferanten-Kunden-Beziehungen.

[3] Mobility Digital Transformation (DX) Strategy Formulated

- Zunehmende Bedeutung von Cybersecurity: Durch die zunehmende Vernetzung und Abhängigkeit von Software rücken IT-Sicherheit und Datenschutz noch mehr in den Fokus der Wertschöpfungskette.
- Neue Geschäftsmodelle: Digitale Services, datenbasierte Anwendungen und Plattform-Ökonomien prägen das zukünftige Umsatzpotenzial.
- Der Expertenkreis Transformation der Automobilwirtschaft (ETA) hat umfassende Vorschläge zur Sicherung und Transformation der automobilen Wertschöpfung in Deutschland erarbeitet, die Bitkom ausdrücklich unterstützt.[4]

4. Chancen für den Aftermarket

Der Aftermarket – von Werkstätten über Pannendienste bis hin zu Carsharing-Anbietern – kann sich im SDV-Zeitalter neu erfinden, um die Potenziale der Transformation zu nutzen. Gleichzeitig entstehen neue plattformbasierte Lösungen für Mobilitätsanbieter und Endnutzer. Der Aftermarket könnte sich so zu einem integralen Bestandteil des SDV-Ökosystems entwickeln.

Entscheidende technische Voraussetzungen für neue Geschäftsmodelle während der Fahrzeugnutzungsphase werden durch das SDV geschaffen bzw. weiterentwickelt:

- Zugang zu Fahrzeug-, Nutzungs-, Sicherheits- und Umweltdaten
- Zugang zur Fahrerschnittstelle und Einbindung in digitales Ökosystem
- Upgrade-Fähigkeit des Fahrzeugs

Der Beitrag des Aftermarkets zur Wertschöpfung kann sich damit massiv verschieben von der Entwicklung und initialen Bereitstellung des Fahrzeugs hin zur eigentlichen Fahrzeugnutzung und damit verbundenen Services. Dies geht weit über die klassischen Bereiche Wartung und Reparatur hinaus.

5. Der globale Wettbewerb

Internationale Vorreiter, insbesondere China und die USA, haben bereits große Fortschritte erzielt und sichern sich durch Software-First-Ansätze sowie die herausragende Expertise von Software-Experten entscheidende Wettbewerbsvorteile:

- China setzt auf umfassende und tiefgreifende Vereinheitlichung technischer Lösungen durch inhaltliche Konkretisierung etablierter Standards, getrieben durch das Ministry of Industry and Information Technology (MIIT), das Standardization Administration Committee of China (SAC) und das untergeordnete National Technical Committee of Auto Standardization (TC114). Beispielsweise existieren allein im Sub Committee 34 (Intelligent Connected Vehicles) umsetzungsnahe Spezifikationen zu Cyber Security, ADAS und Datenschnittstellen. So wurde bereits 2021 eine erste detaillierte API zu Software-Defined Automotive Services vorgelegt,

[4] expertenkreis-transformation-der-automobilwirtschaft_papier_zukunft-automobiler-wertschopfung-standort-deutschland.pdf

koordiniert von der China Automobile Industry Association. Aufgrund gesetzlicher Rahmenbedingungen in anderen Weltregionen ist zu erwarten, dass sich diese Standards nicht weltweit durchsetzen werden, sondern vielmehr eine gemeinsame Basis der chinesischen Industrie bilden. Eine im Auftrag des BMWK erstellte Analyse zeigt: Normung und Standardisierung sind zentrale Erfolgsfaktoren für innovative Fahrzeugtechnologien – insbesondere im internationalen Vergleich.[5] Zusätzlich hat China niedrigere (Lohn-)kosten und subventioniert nach Auffassung der EU-Kommission die eigene Industrie massiv.

- Japan hat ehrgeizige Programme zur Entwicklung und Vermarktung von SDV formuliert und schaut bereits aufmerksam auf die Ansätze der europäischen Automobilindustrie im Rahmen der Europäischen Förderungen, insbesondere in Bezug auf kollaborative Ansätze im Open Source Umfeld.
- Die USA fördern Innovationen durch umfangreiche staatliche Investitionen in Forschung und Entwicklung sowie durch die Unterstützung von Startups und Technologieunternehmen. Gleichzeitig tätigen kapitalstarke Tech-Unternehmen massive Investitionen in die Entwicklung softwaredefinierter Fahrzeuge und fortschrittlicher ADAS-Systeme.

Europa muss mit Nachdruck ähnliche Strategien entwickeln, um den Rückstand aufzuholen und sich als globaler Innovationsstandort zu positionieren. Geschwindigkeit und Entschlossenheit sind dabei die entscheidenden Erfolgsfaktoren.

4.2 Vorteile für Fahrzeugnutzer

1. Erhöhte Sicherheit

Durch den Code-First-Ansatz und kontinuierliche Over-the-Air-Updates (OTA) werden sicherheitsrelevante Systeme, wie Fahrerassistenzsysteme (ADAS) oder KI-gestützte Assistenten, kontinuierlich verbessert. Neue Technologien können integriert und Sicherheitslücken sofort geschlossen werden, ohne dass ein Werkstattbesuch erforderlich ist. Diese dynamische Update-Fähigkeit sorgt für eine konstant hohe Sicherheitsstufe während des gesamten Fahrzeuglebenszyklus.

2. Energieeffizienz

Softwaredefinierte Fahrzeuge optimieren den Energieverbrauch durch intelligente Steuerungssysteme und adaptive Algorithmen. Funktionen wie vorausschauendes Energiemanagement, intelligente Rekuperationssteuerung und dynamische Anpassung von Fahrmodi tragen zur Effizienzsteigerung bei. Durch kontinuierliche Software-Updates können neue Optimierungen implementiert werden, wodurch sich Reichweite und Betriebskosten langfristig verbessern.

[5] Normung und Standardisierung zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit im Bereich innovativer Fahrzeugtechnologien

3. Integration von Drittanbietern

Ein offenes Ökosystem unter Einbezug von Cybersicherheitsstandards ermöglicht es, Drittanbieter-Anwendungen zu integrieren, was die Nutzungsmöglichkeiten umfassend erweitert. Fahrerinnen und Fahrer können neue Apps und Dienste hinzufügen, die ihr Fahrerlebnis bereichern oder praktische Funktionen bieten.

4. Nachhaltige Vorteile und höhere Restwerte

SDVs können durch regelmäßige Updates technologisch auf dem neuesten Stand gehalten werden. Dies führt nicht nur zu einer höheren Nutzerzufriedenheit, sondern auch zu einem gesteigerten Restwert beim Wiederverkauf. Käufer profitieren davon, dass SDVs auch nach mehreren Jahren noch mit neuen Fahrzeuggenerationen konkurrieren können.

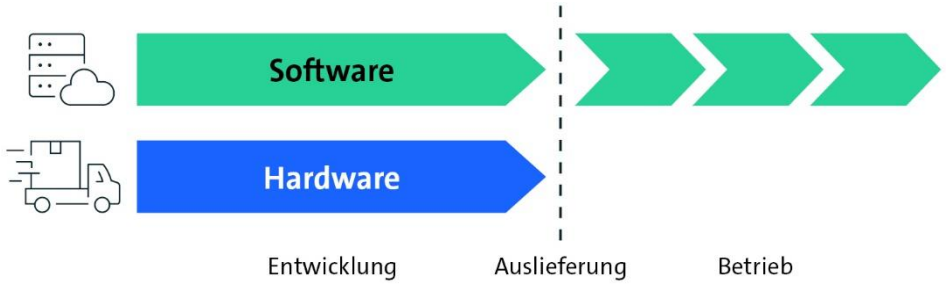


Abbildung 1: Die Entkopplung von Hardware und Software bedeutet, dass die neue softwarebasierte Funktionalitäten weitaus über das Auslieferungsdatum des Fahrzeug kontinuierlich und automatisiert freigeschaltet werden. Hierbei ist von immenser Bedeutung, dass die Hardware zur Auslieferung mit genügend Rechenleistung ausgestattet ist. Bei traditionellen Fahrzeugen ist die Software, so wie die Hardware, zur Auslieferung fertig und erhält nur in Einzelfällen oder Werkstatt besuchen einmalige Updates.

5. Verbesserte User Experience und Personalisierung

Softwarebasierte Systeme ermöglichen es den Fahrerinnen und Fahrern, ihr Fahrzeug individuell anzupassen. Von benutzerdefinierten Einstellungen über KI-basierte Assistenten bis hin zu individualisierten Infotainmentsystemen können Nutzende die Funktionen ihres Fahrzeugs dynamisch an ihre Bedürfnisse anpassen. Dies ist besonders wichtig für wechselnde Nutzungsszenarien, wie beispielsweise Carsharing-Flotten, wo unterschiedliche Fahrerinnen und Fahrer spezifische Anforderungen haben.

6. Reduzierte Ausfallzeiten und optimiertes Flottenmanagement

Auch im Nutzfahrzeugsektor haben softwaredefinierte Fahrzeuge einen entscheidenden Vorteil: Durch den zunehmenden Softwarefokus sinkt die Total Cost of Ownership (TCO), weil ungeplante Ausfallzeiten (»Downtime«) von Fahrzeugen reduziert auftreten und das Flottenmanagement optimiert werden kann. Dadurch werden sowohl das operative Geschäft als auch die Lieferketten effizienter und widerstandsfähiger.

4.3 Vorteile für Hersteller und Zulieferer

Die digitale Transformation hin zum softwaredefinierten Fahrzeug ist in der deutschen Automobilindustrie in vollem Gange. Sie eröffnet enorme Chancen für die gesamte Branche.

1. Wettbewerbsfähigkeit sichern

Die Bedeutung von SDV-Eigenschaften wie ADAS, Infotainmentsystemen und Konnektivität wächst weltweit. Umfragen zeigen, dass diese Features zunehmend kaufentscheidend sind. Besonders in Märkten wie China bewerten über 95 Prozent der Kunden diese Kriterien als essenziell. Auch in Europa steigt die Relevanz moderner Fahrzeugeigenschaften, mit einem prognostizierten Anstieg von über 15 Prozent in den nächsten fünf Jahren. Hersteller, die auf SDVs setzen, sichern ihre Wettbewerbsfähigkeit und können ihre Marktposition ausbauen.

2. Neue Geschäftsmodelle

Durch SDVs eröffnen sich für Hersteller und Dritte neue Geschäftsmodelle. Funktionen können nicht nur beim Fahrzeugkauf, sondern auch während der Nutzung verkauft werden, etwa durch Software-Updates oder Abonnements. Diese kontinuierliche Wertschöpfung macht Fahrzeuge wirtschaftlich attraktiver für OEMs und Drittparteien.

3. Geringere Komplexität und Skalierbarkeit

Der Ansatz einer zentralisierten E/E-Architektur reduziert die physische Komplexität von Fahrzeugen. Weniger Kabelbäume, eine geringere Anzahl an Steuergeräten und effizientere Hardwarekomponenten bedeuten niedrigere Produktionskosten, reduzierte Gewichtsbelastung und kürzere Entwicklungszeiten. Dies steigert die Nachhaltigkeit und erlaubt es Herstellern, Modelle schneller auf den Markt zu bringen.

4. Nachhaltigkeit

Über OTA-Updates können Fahrzeugkomponenten kontinuierlich optimiert werden, wodurch der Lebenszyklus verlängert und die Leistung verbessert wird. Die Möglichkeit, Softwareprobleme zu beheben, ohne Hardware auszutauschen, trägt zudem wesentlich zur Nachhaltigkeit und Reduzierung von Kosten bei. Durch die längere Lebensdauer reduziert sich zudem die Umweltbelastung durch Produktion und Entsorgung.

5. Impulse für Innovation und digitale Transformation

Hersteller und Zulieferer werden sich im aufstrebenden SDV-Markt neu positionieren. Die Zusammenarbeit sowie die Spielregeln werden entsprechend neu definiert. Die Einführung und Beteiligung an innovativen Geschäftsmodellen bietet Potenzial, die

Innovationskraft und die Fähigkeit zur dynamischen Anpassung sowohl der Hersteller als auch der Zulieferer zu fördern. Gleichzeitig kann die interne digitale Transformation dadurch vorangetrieben werden.

6. Kostensenkung durch Standardisierung und skalierbare Plattformen

Eine Open-Source-Softwareplattform für nicht-differenzierende Umfänge für alle Fahrzeuge senkt Entwicklungs- und Wartungskosten. Eine standardisierte E/E-Architektur mit klar definierten Schnittstellen reduziert zudem die Systemkomplexität und Integrationsaufwände. Durch standardisierte Programmierschnittstellen (APIs) wird die Zusammenarbeit mit Drittanbietern erleichtert, was Innovationen beschleunigt und zusätzliche Einsparpotenziale schafft.

5 Handlungsbedarf für die Politik

Mit dem im März 2025 veröffentlichten EU-Aktionsplan für die Automobilindustrie betont die Europäische Kommission den dringenden Handlungsbedarf, um Europas führende Rolle im Wandel zu softwarebasierten, KI-gesteuerten, vernetzten und autonomen Fahrzeugen »zurückzugewinnen« und global wettbewerbsfähig zu bleiben. Chips, Software und künstliche Intelligenz werden dabei als zentrale Bausteine identifiziert. Ein zentrales Vorhaben ist die Gründung der European Connected and Autonomous Vehicle Alliance, die durch die Zusammenarbeit europäischer Akteure eine gemeinsame Open-Source-Software-Plattform und Hardware-Architektur schaffen soll. Ziel ist es, Ressourcen zu bündeln, technologische Souveränität zu sichern und gemeinsame Schnittstellen und Standards zu entwickeln.[6]

Der technologische Wandel hin zu softwarebasierten Fahrzeugen erfordert auch eine Anpassung der gesetzlichen Regelungen für Entwicklung, Homologation, Zulassung und periodische Fahrzeugüberwachung. Die Vision, dass sich die Funktionen von Fahrzeugen auch nach Auslieferung und Zulassung durch regelmäßige Updates von Herstellern und Drittanbietern weiterentwickeln, ist in der aktuellen Gesetzgebung nicht ausreichend abgebildet.

1. Typgenehmigung

Die aktuellen Vorschriften zur Fahrzeuggenehmigung (Homologation) basieren auf einem hardware-orientierten Systemverständnis. Die Baugruppen (Systeme) werden überwiegend auf Komponentenebene geprüft und genehmigt. Da moderne Fahrzeuge zunehmend softwaredefiniert sind, stößt dieses hardware-orientierte Konzept an Grenzen. Eine klare Abgrenzung von Softwarefunktionen ist ohne physische

[6] Industrial Action Plan for the European automotive sector, European Commission

Komponenten schwierig, wodurch die Verkehrssicherheit, Umweltverträglichkeit und Datensicherheit der Fahrzeuge nicht mehr allein auf das Fahrzeug beschränkte Hardware bewertet werden kann. Neben den Vorschriften zur Fahrzeuggenehmigung muss zusätzlich das komplette automobile Umfeld inklusive Infrastruktur beachtet werden.

Die EU-Typgenehmigungsverordnung (EU 2018/858), die ergänzende Verordnung EU 2022/2236 und die referenzierten Vorschriften müssen konsequent an konventionelle und softwarebasierte Fahrzeugarchitekturen angepasst werden. Konkret bedeutet das:

- Eine funktionsorientierte und somit weitestgehend hardwareunabhängige Definition von Fahrzeugsystemen.
- Regelungen für Software-Updates, Upgrades und Downgrades in den Genehmigungs- und Prüfverfahren.
- Regelung für den Weiterbetrieb von Fahrzeugen, deren Hersteller oder Dritte nicht mehr im europäischen oder deutschen Markt aktiv ist.

Um diese Ziele zu erreichen, hat der ETA in einem detaillierten Papier zentrale Handlungsbedarfe zur Weiterentwicklung der Typgenehmigung formuliert:

- Einführung eines innovativen Ansatzes zur Nachweisführung der Sicherheit neuer Funktionen unter Einbeziehung von Erprobungsdaten, Simulationen, Absicherungskonzepten und Ausnahmeregelungen.
- Rückführung der Typzulassung auf die technologieoffene Beschreibung von grundlegenden Sicherheitszielen
- Intelligente Verknüpfung von Typgenehmigungsvorschriften und Normung über einen definierten und zwischen Regelsetzer und Normenersteller abgestimmten Prozess.

Weitere Hintergrundinformationen sind im ETA-Papier »Handlungsempfehlungen für die intelligente Kombination von Regulierung und Normung im automatisierten und vernetzten Fahren« zu finden.[7]

Diese Anpassungen sind essenziell, um moderne Fahrzeugtechnologien rechtssicher und praxisgerecht in die bestehenden Homologations- und Prüfverfahren zu integrieren.

2. Digitale Fahrzeugakte

Die bisher üblichen papierbasierten Zulassungs- und Beschreibungsdokumente sind ungeeignet, um die auf der aktuell vorhandenen Software basierenden Fahrzeugausstattung und Funktion hinreichend exakt zu beschreiben. Für viele Fahrzeuge werden bereits heute Updates und Upgrades, teilweise On-Demand

[7] https://expertenkreis-automobilwirtschaft.de/media/pages/home/afe025fa29-1730451922/expertenkreis-transformation-automobilwirtschaft_kurzpapier_normung-standardisierung-avf_final_20241031.pdf

angeboten, die nicht nur die Funktion, sondern auch die Reparatur und die Wertermittlung eines Fahrzeuges erheblich positiv beeinflussen können.

Eine digitale Fahrzeugdokumentation ist vor diesem Hintergrund zur Wartung, Reparatur, Prüfung, Bewertung und Versicherung der Fahrzeuge zukünftig unverzichtbar. Es braucht daher eine digitale Fahrzeugakte als digitalen Zwilling des Fahrzeugs, die die Versions- und Funktionsinformationen für die Hard- und Software des Fahrzeugs beinhaltet. Dabei müssen auch Dritte und der Aftermarket – wie etwa Versicherer, Werkstätten oder Prüforganisationen – in die Nutzung und Pflege dieser Akte eingebunden werden, um eine vollständige und transparente Dokumentation über den gesamten Fahrzeuglebenszyklus sicherzustellen. Besonders homologations- und zulassungsrelevante Software muss über den gesamten Fahrzeuglebenszyklus der im Fahrzeug vorhandene Softwarestand feststellbar und mit den genehmigten Softwareständen überprüfbar bleiben.

Bei der Entwicklung einer digitalen Fahrzeugakte ist darauf zu achten, dass keine parallelen oder redundanten Digitalisierungsmaßnahmen entstehen. Vielmehr sollte die Fahrzeugakte als Bestandteil eines übergeordneten digitalen Gesamtsystems konzipiert werden. In diesem Zusammenhang sind insbesondere die Arbeiten am Digitalen Produktpass (DPP) zu berücksichtigen, der auf Transparenz, Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft abzielt. Ebenso relevant sind Initiativen im Bereich Datenräume, etwa Catena-X oder Manufacturing-X, die auf eine vernetzte, interoperable Dateninfrastruktur entlang der gesamten Wertschöpfungskette abzielen. Eine ausführliche Darstellung zur Koordination von Normungs- und Standardisierungsaktivitäten im Zusammenhang mit dem DPP und den genannten Datenräumen findet sich im Rahmen des ETA-Projekts.[8]

3. Langfristige Nutzbarkeit von Software-Defined Vehicles

Die Digitalisierung des Fahrzeugs eröffnet große Chancen für innovative Mobilitätslösungen – stellt aber auch neue Anforderungen an den gesamten Lebenszyklus von Fahrzeugen. Angesichts eines durchschnittlichen Fahrzeugalters von inzwischen 10,3 Jahren[9] und zusätzlicher Jahre zwischen Produktionsbeginn und endgültiger Einstellung der Produktion, können sich die Unterschiede zu den schnellen Innovationszyklen der IT- und Mobilfunkinfrastruktur zunehmend bemerkbar machen. Dies könnte langfristig Auswirkungen auf die Verfügbarkeit bestimmter Funktionen, Sicherheitsupdates oder digitaler Dienste haben – insbesondere dann, wenn sie auf externe Infrastruktur oder dauerhafte Unterstützung durch Hersteller und Dritte angewiesen sind.

Auch im Kontext von Zulassung, Sicherheit und Interoperabilität stellt sich die Frage, wie sich SDVs dauerhaft betreiben lassen, wenn etwa Hersteller oder Dritte nicht mehr existieren oder Systeme nicht mehr kompatibel sind. In zukünftigen regulatorischen Überlegungen wäre es daher hilfreich, die langfristige Nutzbarkeit softwaredefinierter Fahrzeuge mitzudenken, etwa durch eine stärkere Fokussierung auf Standards und

[8] Normung und Standardisierung zum Digitalen Produktpass
[9] Kraftfahrt-Bundesamt - Jahresbilanz

Schnittstellen, um kontinuierliche Funktionalität, Sicherheit und Nutzbarkeit sicherzustellen.

4. Cybersecurity

Aktuelle technische Herausforderungen liegen u. a. in der Umsetzung von Cybersicherheitsmaßnahmen. Der nationale und europäische Gesetzgeber sollte hier bei der Rechtssetzung bereits bestehende Normen bedenken, adressieren und besonders Widersprüche vermeiden – beispielsweise mit den Regelungen UNR155 oder UNR156. Im Einklang mit diesen Normen sind daher auch Sicherheitskontrollen im Sinne einer Authentifizierung und Autorisierung für den möglichen schreibenden Zugriff auf Fahrzeugdaten, -funktionen und -ressourcen notwendig. Ergänzend dazu ist die unscheinbare Rolle der Cloud-Services (Backends) zu beachten, um sensible gesammelte Daten entsprechend ihrer Schutzbedürftigkeit abzusichern.

5. Safety und Security neu denken

Fahrzeuge unterliegen strengen regulatorischen Anforderungen sowohl in Bezug auf Safety (funktionale Sicherheit) als auch Security (IT-Sicherheit). Mit der Transformation hin zu softwaredefinierten Fahrzeugen stoßen bestehende Normen jedoch zunehmend an ihre Grenzen. Sie basieren auf traditionellen, hardwarezentrierten Ansätzen und können die Innovationsfähigkeit behindern.

Die ISO 26262 ist der zentrale Standard für funktionale Sicherheit (Safety) in der Automobilindustrie. Sie geht primär von deterministischen und nach der Entwicklungszeit unveränderlichen Systemen aus. Over-the-Air (OTA)-Updates ermöglichen kontinuierliche Verbesserungen, erfordern aber auch neue Methoden zur Sicherstellung der Systemstabilität über den gesamten Lebenszyklus eines Fahrzeugs.

Um die Sicherheit aller Verkehrsteilnehmer zu gewährleisten, müssen Hersteller und Dritte schnell auf Fehler oder Sicherheitslücken reagieren. Dies stellt eine große Herausforderung dar, da sicherheitskritische Systeme typischerweise aufwendige Zertifizierungsprozesse durchlaufen. Es müssen Regeln definiert werden, die eine Aktualisierung der Software erlauben, ohne dass dabei die bestehenden Zertifizierungen ungültig werden.

Die Politik muss Rahmenbedingungen schaffen, die sowohl die Innovationsfähigkeit als auch die Sicherheit und Resilienz von SDVs gewährleisten.

6. Infrastruktur fit machen für die Zukunft

Die allgemeine digitale Infrastruktur in Deutschland und Europa muss ausgebaut werden, um die Funktionsfähigkeit von SDVs zu gewährleisten. Insbesondere den zunehmenden Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen Fahrzeugsystemen und der Infrastruktur außerhalb des Fahrzeugs sollte bei der zukünftigen Ausgestaltung straßenverkehrsrechtlicher Regelungen besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Der im Vergleich zu anderen softwarebasierten Geräten längere

Lebenszyklus eines Fahrzeugs und die Relevanz für das Gesamtsystem Straßenverkehr erfordern eine langfristige, gesamtgesellschaftliche Strategie, die vernetzte Fahrzeuge, Straßeninfrastruktur und Telekommunikationsnetze robust gegen (temporäre) Ausfälle, mögliche Angriffe oder Funktionseinschränkungen durch technologische Alterung macht. Darüber hinaus sollten auch künftige Technologien, wie 6G-Netze, von denen SDVs profitieren, antizipiert werden.

7. Zugänglichkeit vs. Datensicherheit

Die Einführung von Software-Defined Vehicles stellt einen Zielkonflikt zwischen der offenen Zugänglichkeit für unabhängige Anbieter und den notwendigerweise hohen Anforderungen an die Sicherheit dar. Fahrzeugsoftware betrifft nicht nur die Nutzerinnen und Nutzer selbst, sondern auch die Sicherheit anderer Verkehrsteilnehmer, wodurch die Anforderungen an Qualität, Sicherheit und Support deutlich höher sind als bei typischer Konsumentensoftware. Dieser Druck wird durch internationale Cybersicherheitsvorgaben und den rasanten technischen Fortschritt verstärkt, während die europäische Gesetzgebung noch rechtliche Unklarheiten aufweist.

Mit klaren Vorgaben können erhebliche Wertschöpfungspotenziale erschlossen und Kosten für Verbraucherinnen und Verbraucher gesenkt werden. Das Ziel muss immer sein,

- die Innovationsfähigkeit europäischer Fahrzeughersteller zu stärken und KMUs zu befähigen, an der digitalen Transformation teilzuhaben.
- fairen Zugang für alle Marktteilnehmer sicherzustellen, um Wettbewerb zu ermöglichen.

Europa benötigt dringend eine SDV-Strategie, die Sicherheit, Wettbewerb und Partizipation in Einklang bringt. Auf Basis sicherer und kostenbasierter Zugangsregeln muss technologische Innovation maximiert werden, um die globale Wettbewerbsfähigkeit langfristig zu sichern.

Einheitliche Datenschutzanforderungen sicherstellen

Zudem muss in Bezug auf die Durchsetzung der DSGVO und ähnlicher Regularien sichergestellt werden, dass bei außereuropäischen Unternehmen dieselben Maßstäbe wie bei europäischen Unternehmen angelegt werden. Politik und Aufsicht sollten hier stärker für faire Wettbewerbsbedingungen sorgen.

8. Open Source

Der Einsatz von Open Source Software (OSS) verändert die Fahrzeugentwicklung grundlegend: Statt starrer Lastenhefte rückt die offene Kollaboration mit Partnern in den Fokus. Dies ermöglicht eine effizientere Entwicklung und beschleunigte Standardisierung durch einen »Code first«-Ansatz. Die EU muss daher Rahmenbedingungen schaffen, um Open-Source-Communities und die Open-

Innovation-Kultur zu stärken, die die europäische Automobilindustrie in den Mittelpunkt stellt.

Die Nutzung von OSS unterstützt die von der EU angestrebte Open-Innovation-Strategie. Nach dem Konzept von H. Chesbrough basiert Innovation darauf, dass Wissen in der gesamten Gesellschaft verteilt ist und Unternehmen von externen Netzwerken profitieren. Offene Softwareentwicklung senkt Barrieren, fördert interdisziplinäre Zusammenarbeit und könnte zu einer neuen Form der Marken- und Fahrzeugidentifikation führen. Initiativen, wie zum Beispiel die »SDV Working Group by Eclipse« oder »Automotive Linux Grade«, zeigen bereits, wie Open Source in der Automobilbranche erfolgreich eingesetzt werden kann.

Ein wesentlicher Vorteil liegt in der Verteilung des Entwicklungsaufwands auf viele Partner, wodurch eine effizientere und nachhaltigere Softwareentwicklung ermöglicht wird. Zur Vermeidung von Fragmentierung bedarf es jedoch einer von der europäischen Automobilindustrie getragenen Governance, die auch die strategische Koordination gewährleistet. Zudem trägt der »Code first«-Ansatz dazu bei, Standards schneller und tiefgehender zu etablieren. Gleichzeitig gibt es jedoch Herausforderungen: Open-Source-Projekte sind keine klassischen Zulieferungen mit Haftungsverbindlichkeiten, und industrielle Projektsteuerungsmechanismen greifen hier nicht. Darüber hinaus können Lizenzänderungen den Umstieg auf andere Projekte erforderlich machen. Ein weiteres Hindernis ist, dass Open-Source-Software oft nicht von Haus aus automotive-spezifische Zertifizierungsanforderungen wie ISO 26262 oder ASPICE[10] erfüllt, was eine zusätzliche Anpassung erfordert.

Um das Potenzial von Open Source für die europäische Automobilindustrie voll auszuschöpfen, braucht es gezielte politische Unterstützung: Die EU sollte den gezielten Aufbau und die Weiterentwicklung von Open-Source-Communities unter Führung der Automobilbranche aktiv fördern. Zudem sind regulatorische Rahmenbedingungen anzupassen, damit Open Source auch in sicherheitskritischen Bereichen rechtssicher eingesetzt werden kann. Standards und Zertifizierungsmodelle müssen so weiterentwickelt werden, dass sie Open Source Software integrierbar machen.

9. Tempo durch gemeinsame Implementierung

Im Zuge der engeren Zusammenarbeit durch Open-Source-Projekte steht die Automobilindustrie vor der Herausforderung, Interoperabilität zwischen Systemen sicherzustellen. Ziel ist es, Synergien zu heben, Entwicklungsaufwände zu reduzieren und nicht-differenzierende Software gemeinsam zu nutzen.[11] Der bisher übliche Weg über aufwendige Standardisierungsprozesse bietet zwar Rechtssicherheit, ist jedoch oft zu langsam, konsensorientiert und politisch geprägt – und damit kaum geeignet, mit der hohen Innovationsgeschwindigkeit internationaler Wettbewerber, insbesondere aus den USA und China, mitzuhalten.

[10] Automotive SPICE
[11] Declaration of European Automotive Manufacturers and Suppliers – «Manifesto» – Federate SDV

Ein alternativer Ansatz gewinnt daher an Bedeutung: Die Konzentration auf die gemeinsame Entwicklung konkreter Software-Implementierungen. Wenn viele Akteure dieselbe Softwarebasis nutzen, also auf Ebene des Quellcodes kollaborieren, entsteht Interoperabilität durch Praxis und Nutzung – nicht erst durch abstrakte Spezifikationen. Dies ermöglicht schnellere Innovationszyklen und reduziert redundante Entwicklungsarbeit.

Die Politik kann diesen Wandel aktiv begleiten: durch klare rechtliche Rahmenbedingungen für gemeinschaftliche Softwareentwicklung, gezielte und koordinierte Förderung von Open-Source-Projekten sowie die Stärkung europäischer Software-Initiativen. Denn technologische Souveränität entscheidet sich zunehmend nicht in Normungsgremien, sondern im Code – durch Zusammenarbeit, Geschwindigkeit und strategische Investitionen.

10. Förderprogramme und moderne Softwareentwicklung

Die Struktur aktueller Förderprogramme steht im Widerspruch zu den Anforderungen moderner Softwareentwicklung. Während in der Softwareentwicklung zunehmend nach dem Prinzip »code first« gearbeitet wird, verlangen Förderprogramme einen »specification first«-Ansatz. Dieser Fokus auf detaillierte Spezifikationen vor Beginn der Entwicklung führt in der Praxis zu erheblichen Problemen: Sobald sich Anforderungen während der Entwicklung verändern, müssen die verpflichtenden Jahrespläne der Förderprojekte entsprechend angepasst werden. Dies verursacht nicht nur unnötigen bürokratischen Aufwand, sondern bremst auch die Geschwindigkeit, die für die Wettbewerbsfähigkeit in der dynamischen Softwarebranche essenziell ist.

Auch innovative Förderinstrumente wie das im Draghi-Report vorgeschlagene IPCEI (Important Projects of Common European Interest) bringen wenig Verbesserung in Bezug auf Agilität. Die Erfahrungen mit der Förderung im Bereich Chips zeigen, dass solche Programme oft mehrere Jahre dauern – bei IPCEI beispielsweise etwa drei Jahre – und somit nicht die nötige Schnelligkeit bieten, um Softwareprojekte effektiv voranzutreiben.

Zusätzlich senden die Kürzungen in Förderprogrammen des Bundeshaushalts ein negatives Signal an die Branche. Sie verdeutlichen, dass die Relevanz dieses Zukunftsthemas noch nicht in ausreichendem Maße erkannt wurde. Um die Softwareentwicklung in Deutschland zu stärken und mit der internationalen Dynamik mitzuhalten, braucht es jedoch nicht weniger, sondern mehr Unterstützung durch schnelle, flexible und unbürokratische Fördermechanismen.

11. Fachkräfte

Beschäftigungseffekte der gegenwärtigen Transformation der Autoindustrie sind ausführlich im ETA-Papier »Diagnose der Beschäftigungseffekte und Qualifizierungsbedarfe in der Automobilwirtschaft« beschrieben.[12] Die Verschiebung

[12] Diagnose der Beschäftigungseffekte und Qualifizierungsbedarfe in der Automobilwirtschaft

der Qualifikationsbedarfe zeigt sich besonders im IT-Fachkräftemangel. Doch besonders für die Softwarerevolution im Automobil benötigen wir die besten IT-Fachkräfte der Welt. Hier zeigt sich jedoch eines der größten Hemmnisse für die digitale Transformation. Laut einer Bitkom-Studie werden in Deutschland bis 2040 rund 663.000 IT-Fachkräfte fehlen, wenn nicht entschieden gegengesteuert wird. Bereits 2023 blieben 149.000 IT-Stellen unbesetzt – ein drastischer Anstieg gegenüber den 82.000 offenen Stellen im Jahr 2018.

Besonders betroffen ist der für die Automobilindustrie essenzielle Mittelstand, der als starkes Cluster in der Branche agiert. Doch auch etablierte Fahrzeughersteller und Zulieferer leiden unter dem Mangel an qualifizierten IT-Fachkräften, die für eine erfolgreiche Transformation dringend benötigt werden. Um die Fachkräftelücke zu schließen, müssen Bund und Länder gezielt gegensteuern. Vier zentrale Maßnahmen sind essenziell:

1. **Informatik fördern & junge Talente begeistern**
   - Einführung von Informatik als Pflichtfach
   - Enge Zusammenarbeit zwischen Schulen und Wirtschaft
   - Ausbau zusätzlicher Lehrstühle an Hochschulen
2. **Ältere Beschäftigte im Arbeitsmarkt halten**
   - Abschaffung der Sozialabgaben für Erwerbstätige im Rentenalter
   - Kontinuierliche Weiterbildungsmöglichkeiten für ältere Fachkräfte
3. **Quereinstieg in die IT erleichtern & Weiterbildung stärken**
   - Förderung von Quereinstiegsprogrammen
   - Ausbau von Beratungsangeboten
   - Mehr Transparenz zu Fördermöglichkeiten für Weiterbildung
4. **Fachkräftemangel durch Zuwanderung ausgleichen**
   - Einrichtung von Willkommensagenturen statt Ausländerbehörden
   - Beschleunigung der Einwanderungsverfahren durch digitale Prozesse

6 Use Cases

Die Transformation zum softwaredefinierten Fahrzeug ist bereits im Gange – viele Use Cases sind heute schon technisch umsetzbar und im praktischen Einsatz. Die folgenden Beispiele zeigen das Potenzial datengetriebener, vernetzter Fahrzeugfunktionen entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

1. Nutzerzentrierte Anpassungen

Personalisierung für unterschiedliche Zielgruppen:
SDVs ermöglichen individuelle Anpassungen, die auf spezifische Bedürfnisse von Nutzergruppen zugeschnitten sind. Beispiele sind:

- Seniorinnen und Senioren: Anpassung der Benutzeroberfläche mit vereinfachten Steuerelementen und klarer Sprachführung, unter Einhaltung der Anforderungen an die Driver Distraction.

Regionsspezifische Anpassungen:
Länderspezifische Hardware-Änderungen an Fahrzeugen können reduziert werden, z. B. bei Fahrerassistenzfunktionen, Sprachpaketen oder Anzeigeformaten.

2. Predictive Service und Wartung

Datenbasierte Wartung:
Schäden können vor ihrem Eintritt durch Analyse von Fahrzeugdaten vorhergesagt werden. Dies erlaubt eine frühzeitige Planung von Werkstatttterminen sowie eine reibungslose Organisation von Ersatzteilen oder Ersatzfahrzeugen.

Komponentenverbesserung:
Wiederkehrende Schadensmuster oder Produktverbesserungen können durch Over-the-Air-Updates adressiert werden. Hersteller, Zulieferer und Flottenbetreiber gewinnen aus der Analyse von Fahrzeugdaten wertvolle Erkenntnisse zur Optimierung von Komponenten.

3. Performante automatisierte Fahrsysteme

Zentrales Merkmal eines softwaredefinierten Fahrzeugs ist die signifikante Erhöhung von Komfort- und Sicherheit durch leistungsstarke automatisierte Fahrsysteme der Level 2 (Hands-Free) und 3. Die schrittweise Abgabe von Verantwortung bei der Fahraufgabe ermöglicht den Nutzerinnen und Nutzern, die neuen Möglichkeiten des SDVs durch On-Board Info- und Entertainment intensiv zu nutzen.

Level 2 Hands-Free und Level 3 Autobahnpiloten werden auf der leistungsstärkeren Softwarearchitektur des SDV fortwährend verbessert.

4. Services rund um Laden und Tanken

Optimierung des Energieverbrauchs:
SDVs bieten datenbasierte Empfehlungen zum optimalen Zeitpunkt und Ort des Ladens oder Tankens. Über Funktionen wie dynamisches Routenmanagement kann die Effizienz gesteigert und der Komfort der Nutzerinnen und Nutzer verbessert werden.

5. Versicherungsmodelle

First Notification of Loss (FNOL):
Im Schadensfall werden Versicherungen durch automatische Meldungen schnell informiert, was den Bearbeitungsprozess beschleunigt.

Pay-as-you-drive:
Versicherungen können Fahrverhalten und Nutzungsintensität berücksichtigen, um personalisierte Tarife anzubieten, die auf den individuellen Daten des Fahrzeugs basieren.

6. Cross-Selling und digitale Services

Zusatzangebote im Fahrzeug:
SDVs ermöglichen es, Produkte und Dienstleistungen – von Unterhaltung bis zu Fahrzeugzubehör – direkt im Fahrzeug anzubieten. Diese können direkt gekauft und installiert werden, was die Monetarisierung des Fahrzeugs für Hersteller und Dienstleister fördert.

7. Flottenmanagement

Optimierte Verwaltung:
Viele der genannten Use Cases lassen sich auf Flottenmanagement anwenden. Besonders relevant sind hier:

- Effiziente Routen- und Auslastungsplanung.
- Automatisiertes Management von Serviceintervallen.
- Analysen zur Verbesserung der Fahrzeugnutzung und Kostenreduktion.

7 Anhang

7.1 Technologische Grundlagen des SDV

Klassische Fahrzeugarchitekturen basieren auf einer Vielzahl von Steuergeräten (ECUs) unterschiedlicher Lieferanten. Ein modernes Automobil kann bis zu 150 solcher Module enthalten, wobei die Software oft monolithisch und in proprietären Entwicklungsumgebungen erstellt wird. Dieses fragmentierte System hat mehrere Nachteile:

- Fragmentierte Software-Architektur: Die Module besitzen keine standardisierten Schnittstellen, was eine Integration erschwert.
- Langsame Entwicklungszyklen: Im Kontext des SDV bleibt die enge Abstimmung mit verschiedenen Zulieferern ein entscheidender Faktor, der die Entwicklungszyklen beeinflusst. Während bei herkömmlichen Fahrzeugen vor allem Änderungen und Erweiterungen der Software diese Abstimmungen erforderlich machten, liegt der Fokus beim SDV stärker auf standardisierten Schnittstellen und kontinuierlicher Entwicklung / Integration.
- Starre Kopplung von Hardware und Software: Die Bereitstellung dedizierter Komponenten mit einem vordefinierten Funktionsumfang führt zu unflexiblen Lösungen mit hohem Anpassungsaufwand.

Diese Herausforderungen sollen durch SDVs adressiert werden. Die KI-Anwendungen fördern die Integration der Technologien, beispielsweise Digital Twins und IoT sowie Cloud. Die technologische Basis ist dabei ein integriertes Ökosystem aus Hardware, Software (Car OS und AI OS) und Vernetzungstechnologien, das die Grundlage für zukunftsweisende Fahrzeugfunktionen bildet. Im Folgenden werden die zentralen technologischen Komponenten eines SDVs erläutert.

7.2 Grundlegende Merkmale

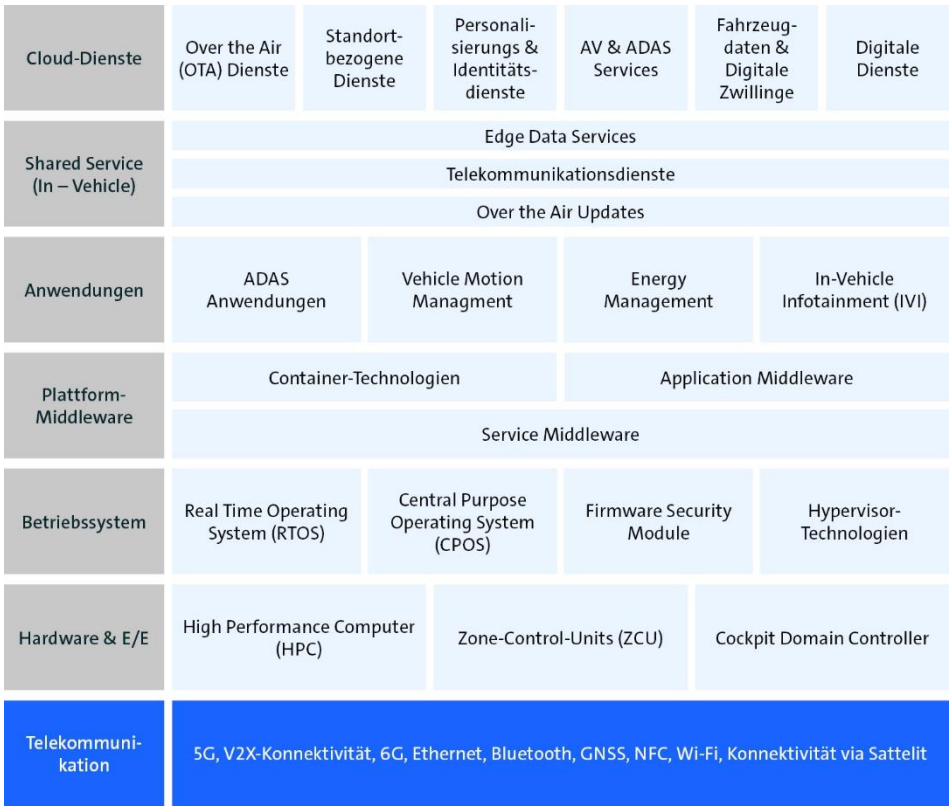
1. Zentrale Hardware-Architektur

Eine leistungsfähige Hardware ist das Rückgrat eines SDVs. Gerade in diesem Bereich ist die Abhängigkeit von außereuropäischen Wertschöpfungsketten besonders hoch. Die zentrale Elektrik- und Elektronik-Architektur (E/E) unterscheidet sich grundlegend von der klassischen Fahrzeugarchitektur mit zahlreichen dezentralen Steuergeräten:

- **High-Performance-Computer (HPC):** Der HPC dient als zentraler Rechenknoten des Fahrzeugs, der Funktionen wie autonome Fahralgorithmen, KI-basierte Verarbeitung und datenintensive Anwendungen steuert. Chiplet-basierte Architekturen bieten dabei die notwendige Skalierbarkeit und Flexibilität für unterschiedliche Fahrzeugklassen.

- **Zone-Control-Units (ZCU):** Die Fahrzeugarchitektur wird in wenige Zonen unterteilt, die von ZCUs verwaltet werden, wodurch die Anzahl der Steuergeräte reduziert wird.
- **Cockpit Domain Controller:** Dieser Controller übernimmt spezifisch die Ansteuerung für Infotainment und Entertainment und sorgt für ein nahtloses Benutzererlebnis

Software-Defined Vehicles: Überblick ausgewählter technischer Komponenten



2. Plattform-Middleware

Middleware ermöglicht eine skalierbare, sichere und flexible Software-Architektur im Software-Defined Vehicle:

- **Container-Technologien:** Container-Technologie sorgt dafür, dass Software in modernen Autos flexibel und sicher läuft. Ein Beispiel ist die Nutzung in Fahrassistenzsystemen (ADAS). Dank Containerisierungsstandards wie z. B.z.B. Docker oder WebAssemblyWebassembly System Interface funktioniert die Software unabhängig von der Hardware. Container helfen zudem bei Verwaltung und Skalierung. Sicherheitsmaßnahmen wie Zugriffsbeschränkungen und Überwachung schützen vor Angriffen. Die Einbindung in zonenbasierte Systeme und drahtlose Updates (OTA) ermöglicht eine schnelle Weiterentwicklung.
- **Middleware:** Middleware ist eine Software-Schicht, die zwischen der zentralen Fahrzeugarchitektur, den Controllern und den Anwendungen liegt. Sie dient als Vermittler, um die Kommunikation und Datenverarbeitung zwischen verschiedenen Fahrzeugmodulen zu erleichtern. Dadurch ermöglicht sie eine skalierbare und

flexible Software-Architektur, indem sie beispielsweise das Infotainmentsystem und die Fahrassistenzsysteme miteinander verbindet und absichert. Sie führt ebenfalls dazu, dass SoftwaremoduleSoftware Module leichter ausgetauscht, oder gar im System verschoben werden können.

3. Betriebssystem-Virtualisierung

Virtualisierungskomponenten erlauben es, verschiedene Fahrzeugfunktionen effizient zu trennen, während sie die Leistungsfähigkeit und Flexibilität der Systemarchitektur unterstützen.

- **RTOS (Real-Time Operating System):** Für zeit- und sicherheitskritische Anwendungen wie ADAS, bei denen Latenzen minimiert werden müssen.
- **GPOS (General Purpose Operating System):** Für Infotainment oder Apps für Fahrkomfort, die keine Echtzeit-Verarbeitung erfordern.
- **Hypervisor-Technologien:** Sie ermöglichen den parallelen Betrieb von RTOS und GPOS auf derselben Hardware, wobei sicherheitskritische Funktionen von anderen Anwendungen isoliert werden. Dies ermöglicht eine sichere und effiziente Nutzung der Hardware-Ressourcen.
- **Firmware Security Module:** Anstatt die geheimen Schlüssel und Krypto-Operationen wie bisher unflexibel an Hardware zu binden, können diese Funktionen in der SoftwareSoftware realisiert werden.

4. Telekommunikationsdienste

Kommunikationstechnologien sind für die Vernetzung innerhalb und außerhalb des Fahrzeugs essenziell:

- **5G, V2X-Konnektivität und perspektivisch 6G:** Diese Technologien ermöglichen sowohl die breitbandige und zuverlässige Datenverbindung ins Fahrzeug als auch Echtzeitkommunikation zwischen Fahrzeugen, Verkehrsinfrastruktur und der Cloud, was Anwendungen wie Kollisionsvermeidung und dynamische Verkehrssteuerung (z. B.z.B. Ampelkommunikation) unterstützt.
- **Ethernet:** Ist eine Hochgeschwindigkeits-Kommunikationstechnologie, die in modernen Fahrzeugen für die schnelle und stabile Datenübertragung zwischen verschiedenen Systemen eingesetzt wird. Es sorgt für eine nahtlose Kommunikation z. B. zwischen Steuergeräten, Sensoren, Aktoren und des HPC.
- **GNSS:** Präzise Navigation durch Satellitenkommunikation ist entscheidend für autonome Fahrzeuge und vernetzte Dienste.
- **Bluetooth und NFC:** Diese Technologien ermöglichen eine drahtlose Verbindung über kurze Distanz und verbessern die Personalisierung und den Komfort, z. B. durch schlüssellosen Zugang, drahtlose Verbindung von Mobilfunkgeräten oder Identifikation im Fahrzeug.

- **Wi-Fi:** Wi-Fi kann für Infotainment-Systeme, Hotspots und Carsharing-Anwendungen genutzt werden und ermöglicht den Passagieren eine drahtlose Internetverbindung im Fahrzeug. Außerdem dient Wi-Fi in manchen SDV-Systemen als lokale Verbindung für die Fahrzeugdiagnose und -wartung.
- **Konnektivität via Satellit:** Ergänzend zum bisherigen Mobilfunknetz über Basisstationen zeichnet sich ein Trend zur direkten Satelliten- Kommunikation ab: Nicht-terrestrische Netze (NTN). Dies bedeutet, dass Fahrzeuge auch in den entlegensten Orten die Fähigkeit besitzen breitbandig zu kommunizieren, Notrufe abzusetzen, OTA-Updates zu empfangen. Hierbei ergeben sich nicht nur mit dem 3GPP-Standard Synergien, sondern auch mit der Forschungsstrategie zu 6G seitens BMBF.

5. Back-End Services

Cloud-Dienste bilden eine Schlüsselkomponente des SDV, da sie eine kontinuierliche Vernetzung und Remote-Funktionalitäten (z. B. Fernwartung und Software-Updates) ermöglichen. Zu den wesentlichen Cloud-Diensten gehören:

- **Over-the-Air-Services (OTA):** Updates und Upgrades für Software und Firmware können drahtlos bereitgestellt werden, wodurch neue Features oder Sicherheitsupdates ohne Werkstattbesuch implementiert werden.
- **Personalisierungs- und Identitätsservice:** Dieser Service erlaubt es, Nutzerpräferenzen und individuelle Profile in der Cloud zu speichern und zwischen verschiedenen Fahrzeugen derselben Nutzerin bzw. desselben Nutzers zu übertragen. Funktionen wie Sitz-, Klima- und Infotainment-Einstellungen können so automatisch an die Präferenzen jeder Fahrerin bzw. jedes Fahrers angepasst werden, was das Fahrerlebnis personalisiert und komfortabler macht.
- **Vehicle Data & Digital Twin:** Der digitale Zwilling eines Fahrzeugs ist ein virtuelles Modell, das den Zustand, die Nutzung und die Leistung des realen Fahrzeugs widerspiegelt. Fahrzeugdaten werden kontinuierlich in die Cloud übertragen und in diesem Modell gespeichert. Dadurch können Hersteller das Fahrzeug remote begleiten, vorausschauende Wartung durchführen und Echtzeit-Analysen zur Optimierung der Fahrzeugleistung anbieten.
- **Standortbezogene Dienste:** Diese Dienste verwenden Echtzeit-Standortdaten des Fahrzeugs, um standortbezogene Informationen und personalisierte Services bereitzustellen. Beispiele sind dynamische Navigation mit Stauwarnungen, Informationen zu nahegelegenen Ladestationen und Parkplatzverfügbarkeiten.
- **Digitale Dienste:** Hierzu zählen zusätzliche Cloud-basierte Services wie Streaming, Navigation, Kommunikations-Apps oder Fahrdienste, die über das Fahrzeug verfügbar sind. Diese Services verbessern das Infotainment-Erlebnis und ermöglichen es Nutzerinnen und Nutzern, das Fahrzeug als umfassende Mobilitäts- und Kommunikationsplattform zu nutzen.
- **Edge Data Service:** Dieser Service verarbeitet Fahrzeugdaten direkt an Bord, ohne dass diese zur Cloud gesendet werden müssen. Er ermöglicht eine schnelle, lokale Verarbeitung wichtiger Informationen, etwa zur Verkehrssicherheit oder

Fahrzeugdiagnose, und reduziert die Latenzzeit, was gerade bei sicherheitskritischen Funktionen entscheidend ist.

6. Fahrzeuganwendungen

Fahrzeuganwendungen spielen eine zentrale Rolle in modernen Fahrzeugen und tragen erheblich zur Benutzerfreundlichkeit, Sicherheit und Personalisierung bei.

- **ADAS-Systeme:** Sensor- und kamerabasierte Systeme wie Notbremsassistent, Spurhalteassistent und adaptiver Tempomat erhöhen Sicherheit und Komfort.
- **In-Vehicle Infotainment (IVI):** Unterhaltungs- und Informationsdienste sind nahtlos in einer benutzerfreundlichen Oberfläche integriert, einschließlich Navigation, Medien-Streaming und App-Integration.
- **Datengetriebene Anwendungen:** Analyse des Fahrzeug- und Fahrverhaltens, vorausschauende Wartung, optimierte Fahrleistungen und personalisierte Dienste. Sie werden durch die Erfassung und Verarbeitung von Daten aus dem Fahrzeug und seiner Umgebung ermöglicht.
- **Energiemanagement:** Vorausschauende und datengestützte Betriebsstrategie des Fahrzeugs zur Erhöhung der Reichweite und Energieeffizienz
- **Vehicle Motion Management:** Zentrale Koordination aller relevanten Aktoren von Bremse, Lenkung, Antrieb und Dämpfung zur optimalen Stabilisierung des Fahrzeugs in allen Situationen, Erhöhung des Fahrkomforts sowie verbesserte Wartung kritischer Komponenten.
- **Datenbasierte Gefahrenerkennung:** Sensoren und andere Fahrzeugdaten können zur Erkennung von Gefahren wie schlechter Straßenbedingungen, Falschfahrern, Diebstählen oder Unfällen verwendet werden. Beispielsweise werden für »»Theft Prevention Services«« vernetzte Technologien wie GPS, Echtzeitüberwachung, biometrische Authentifizierung und Remote-Funktionen genutzt, um Fahrzeuge zu schützen.
- **Digital unterstützte Pannenhilfe:** Im Pannenfall können Nutzerinnen und Nutzer durch digitale Meldungen sofort Unterstützung anfordern. Der Pannendienst erhält Zugriff auf Fahrzeugdaten und kann Defekte remote diagnostizieren oder vor Ort gezielt beheben. Diese Funktion setzt eine verlässliche Internetabdeckung voraus.
- **Remote-Diagnose:** Daten wie der Zustand der Batterie (State of Health) oder potenzielle Defekte können over-the-air abgerufen werden. Dadurch werden präzise Diagnosen und effiziente Reparaturen ermöglicht, ohne dass ein Werkstattbesuch vorab erforderlich ist.

Bitkom vertritt mehr als 2.200 Mitgliedsunternehmen aus der digitalen Wirtschaft. Sie generieren in Deutschland gut 200 Milliarden Euro Umsatz mit digitalen Technologien und Lösungen und beschäftigen mehr als 2 Millionen Menschen. Zu den Mitgliedern zählen mehr als 1.000 Mittelständler, über 500 Startups und nahezu alle Global Player. Sie bieten Software, IT-Services, Telekommunikations- oder Internetdienste an, stellen Geräte und Bauteile her, sind im Bereich der digitalen Medien tätig, kreieren Content, bieten Plattformen an oder sind in anderer Weise Teil der digitalen Wirtschaft. 82 Prozent der im Bitkom engagierten Unternehmen haben ihren Hauptsitz in Deutschland, weitere 8 Prozent kommen aus dem restlichen Europa und 7 Prozent aus den USA. 3 Prozent stammen aus anderen Regionen der Welt. Bitkom fördert und treibt die digitale Transformation der deutschen Wirtschaft und setzt sich für eine breite gesellschaftliche Teilhabe an den digitalen Entwicklungen ein. Ziel ist es, Deutschland zu einem leistungsfähigen und souveränen Digitalstandort zu machen.

Herausgeber
Bitkom e.V.
Albrechtstr. 10 | 10117 Berlin

Ansprechpartner/in
Paul Hannappel | Bereichsleiter Automotive & Logistics
T 030 27576-130 | p.hannapel@bitkom.org

Verantwortliches Bitkom-Gremium
AK Automotive

Autorinnen und Autoren
Christoph Hecht (ADAC) | Stefan Abendroth, Thorsten Schneider, Detlef Zerfowski (Bosch) | Philipp Dierken (BMW) | Marc Kiebel (CARIAD) | Dr. Thorsten Sickenberger (d-fine) | Maik Beermann, Sascha Dohmke, Thomas Jäger (DEKRA) | Michael Plagge (Eclipse Foundation) | Nils Brand, Dr. Daniel Schneider (Fraunhofer IESE) | Andre Larberg, Dr. Nicole Natho (IAV) | Adam Lackorzynski (Kernkonzept) | Alex Jan Erdmann (MAHLE) | Augustin Friedel, Marcus Klische (MHP – A Porsche Company) | Dr. Uwe Pützschler (Nokia) | Richard Willems (Swissbit) | Xin Wang (Telekom) | Matthias Krähling (Volkswagen) | Marcel Proff (ZF)

Copyright
Bitkom 2025

Diese Publikation stellt eine allgemeine unverbindliche Information dar. Die Inhalte spiegeln die Auffassung im Bitkom zum Zeitpunkt der Veröffentlichung wider. Obwohl die Informationen mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt wurden, besteht kein Anspruch auf sachliche Richtigkeit, Vollständigkeit und/oder Aktualität, insbesondere kann diese Publikation nicht den besonderen Umständen des Einzelfalles Rechnung tragen. Eine Verwendung liegt daher in der eigenen Verantwortung des Lesers. Jegliche Haftung wird ausgeschlossen. Alle Rechte, auch der auszugsweisen Vervielfältigung, liegen beim Bitkom oder den jeweiligen Rechteinhabern.