

DiSerHub-TOP10

AutoTech-Revolution

Die digitale Transformation der Mobilität

Digital Driving: Die Zukunft der Automobilindustrie im Zeitalter der Vernetzung





Liebe Leser*innen,

Die Automobilindustrie befindet sich in einem fundamentalen Umbruch – einem Wandel, der nicht nur technologische Neuerungen hervorbringt, sondern das gesamte industrielle Ökosystem neu definiert. Digitalisierung, Elektrifizierung, automatisiertes Fahren und datenbasierte Geschäftsmodelle fordern traditionelle Strukturen heraus und eröffnen gleichzeitig ungeahnte Chancen. Inmitten dieses Umbruchs rückt das Fahrzeug selbst immer stärker in den Mittelpunkt als digitale Plattform – als vernetztes, kontinuierlich aktualisierbares Produkt, das weit über seine physische Präsenz hinausreicht.

Diese FIR-Publikation der DiSerHub-Top-10-Reihe zeigt die zehn wichtigsten Handlungsfelder auf, die für Unternehmen der Automobilbranche im digitalen Zeitalter entscheidend sind. Die Themen reichen von der Neugestaltung der Elektrik-/Elektronik(E/E)-Architekturen über die Entwicklung softwaredefinierter Fahrzeuge bis hin zu neuen Wertschöpfungsmodellen und der Transformation von Organisationen. Dabei wird nicht nur der Status quo beleuchtet, sondern auch ein Ausblick auf zukünftige Entwicklungen gegeben, die OEM, Zulieferer und neue Marktteilnehmer gleichermaßen betreffen.

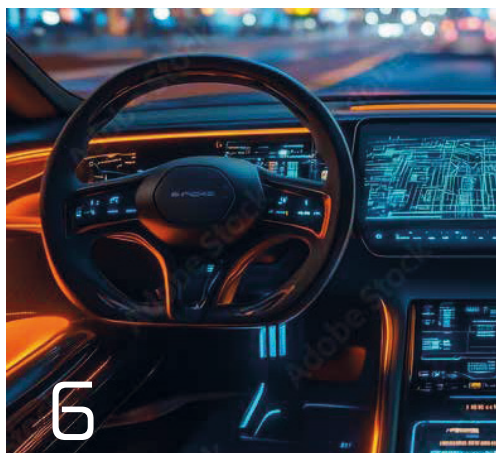
Im Zentrum steht die Erkenntnis, dass die Wettbewerbsfähigkeit der Automobilindustrie zunehmend von deren Fähigkeit abhängt, digitale Innovationen schnell und sicher in marktreife Produkte zu überführen. Die Einführung zentraler Recheneinheiten, die Trennung von Software und Hardware, agile Entwicklungsmethoden und Continuous Integration/Deployment sind nicht länger optional, sondern erfolgskritisch. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an Cybersicherheit, Datenschutz und Systemstabilität in einem Maße, das herkömmliche Entwicklungs- und Sicherheitsmodelle an ihre Grenzen bringt.

Diese Publikation versteht sich als Impulsgeber und Orientierungshilfe für Entscheider*innen, Entwickler*innen und Innovationsverantwortliche. Sie bietet nicht nur eine fundierte Analyse der technologischen Entwicklungen, sondern auch konkrete Lösungsansätze und Praxisbeispiele für eine erfolgreiche Transformation. In einer Zeit, in der Fahrzeuge nicht mehr nur Transportmittel, sondern digitale Schnittstellen, Datenlieferanten und Dienstleistungsplattformen sind, ist es entscheidend, die richtigen Weichen zu stellen.

Begleiten Sie uns auf dieser Reise durch die zehn Schlüsselfelder einer Branche im Wandel – und entdecken Sie, wie aus Herausforderungen nachhaltige Wettbewerbsvorteile entstehen können.

Wir wünschen viel Freude beim Lesen.

Ihr DiSerHub-Team des FIR an der RWTH Aachen



6

6 E/E-Architektur im Wandel:
Die Zukunft der Technologie

10 Transformation der Wertschöpfung:
Neue Geschäftsmodelle
in der Automobilbranche

14 Das Fahrzeug als digitale Plattform:
Integration vielfältiger Dienste und Funktionen

18 Neugestaltung der Industriebeziehungen:
Partnerschaften für softwaredefinierte Fahrzeuge

21 Fahrzeugsoftware und Sicherheit:
Strategien gegen Cyber-Bedrohungen



14

Impressum

AutoTech-Revolution – Die digitale Transformation der Mobilität · DiSerHub-TOP10
Projekt DiSerHub – FIR e. V. an der RWTH Aachen · Campus-Boulevard 55 · 52074 Aachen
· diserhub.de · DOI: 10.60571/3925

Design/Satz: FIR e. V. an der RWTH Aachen

Autor*innen: Franziska Sommer · Lennardt Söhngen · Alexandra Meltzow-Altmeier

Bildnachweise: Titelbild, S. 2: © Emanuel – stock.adobe.com; S. 5, S. 27: © zongr – stock.adobe.com;
S. 4, S. 15: © miss irine – stock.adobe.com; S. 5, S. 21: © city of pictures – stock.adobe.com;
S. 6: © ifoto – stock.adobe.com; S. 20: © P – stock.adobe.com; S. 30: © Ruslan Batiuk – stock.adobe.com;
S. 33: © Aleena – stock.adobe.com; S. 36: © The Little Hut – stock.adobe.com; S. 44: © Emanuel – stock.adobe.com

KI-Transparenzhinweis: Beim Verfassen einiger Beiträge zu diesem Heft haben die Autor*innen an wenigen Textstellen KI-Tools verwendet, um Verbesserungsvorschläge zu erhalten. Diese wurden von den Autor*innen dann noch überarbeitet. Zudem wurden teilweise KI-basierte Tools zur digitalen Literaturrecherche genutzt.



Open Access: Diese Publikation wird unter der Creative-Commons-Lizenz „CC-BY SA“ Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International“

Zuwendungsgeber:

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Förderkennzeichen: 16THB0004A

Laufzeit: 01.09.2022 – 30.12.2025

Projekträger:



VDI / VDE Innovation + Technik GmbH

- 24 Entwicklungsansätze:
Agile Methoden und Continuous-
Integration-Deployment
- 27 Moderne Strukturen
der Organisation:
Anpassung an die digitale Transformation
- 30 Synergien in der Branche:
Erfolgreiche Zusammenarbeit
der Marktteilnehmer



27



33

- 33 Innovationen im Fahrzeug:
Künstliche Intelligenz zur Verbesserung
der Fahrzeugfunktionalität und Nutzererfahrung
- 40 Kreislaufwirtschaft
in der Automobilbranche:
Re-Assembly und Langlebigkeit als Zukunftsmodell
- 44 Zusammenfassung „Digital Driving:
Die Zukunft der Automobilindustrie
im Zeitalter der Vernetzung“

E/E-Architektur im Wandel: Die Zukunft der Technologie

Die Automobilindustrie befindet sich in einem tiefgreifenden Wandel, der durch die zunehmende Komplexität moderner Fahrzeuge und die rasante technologische Entwicklung vorangetrieben wird. In diesem Kontext gewinnt die Elektrik/Elektronik(E/E)-Architektur eine immer zentralere Bedeutung für die Fahrzeugentwicklung. Die Hersteller stehen vor der Herausforderung, ihre Entwicklungsprozesse grundlegend zu überdenken und neu zu strukturieren, um den steigenden Anforderungen gerecht zu werden. Dabei nimmt der Anteil der Entwicklungsaufwände, die in die E/E-Architektur fließen, einen signifikanten Teil der Gesamtinvestitionen ein.

Aktuelle Schätzungen zeigen, dass bis zu 70 Prozent der gesamten Investitionen in Forschung und Entwicklung (F&E) auf E/E-Architekturen entfallen, insbesondere bei Hybrid- und Elektrofahrzeugen.¹

Der dabei vorhandene Innovationsdruck zur Entwicklung neuer E/E-Architekturen resultiert aus den Anforderungen an Elektrifizierung, Vernetzung und automatisiertes Fahren, was die Notwendigkeit für effiziente und flexible Entwicklungsprozesse verstärkt.

Aber was genau bedeutet der Begriff E/E-Architektur?

Der Begriff Elektrik-/Elektronik-Architektur, abgekürzt E/E-Architektur oder auch E/E-A, bezieht sich auf das Gesamtsystem der elektrischen und elektronischen Komponenten sowie deren Verbindungen innerhalb eines Fahrzeugs. Aus physikalischer Perspektive umfasst die E/E-A dabei somit die präzise Positionierung und Verbindung von Elementen wie Steuergeräten, Sensoren, Aktoren, Stromerzeugern und Schaltern. Darüber hinaus ermöglicht sie die Kommunikation, die die Platzierung von Kabelbäumen und die effiziente Stromverteilung einschließt. Zudem nimmt die Fahrzeugsoftware eine entscheidende Rolle ein, insbesondere im Kontext der Entwicklung von softwaredefinierten Fahrzeugen.

Die E/E-Architektur eines Fahrzeugs beeinflusst daher umfassend sämtliche Aspekte der Fahrzeugentwicklung. Ergo ist eine angemessene Architektur für die Festlegung von technischen Ansätzen, präzisen Anforderungen, Konstruktionsstrukturen und Entwicklungsmethoden essenziell.

Eine detaillierte Untersuchung des Wandels in der E/E-Architektur eines Fahrzeugs beinhaltet eine gründliche Betrachtung der Umstellung auf zentrale Recheneinheiten, der Trennung

von Software und Hardware, der fortschreitenden Standardisierung sowie der Veränderung in der Softwareentwicklung. Dabei werden insbesondere die Herausforderungen, Fragestellungen und Lösungsansätze genau betrachtet.

Herausforderungen

Die konventionelle Elektrik/Elektronik(E/E)-Struktur basiert auf zahlreichen dezentralen Einheiten, die eine beträchtliche Anzahl elektronischer Steuergeräte (ECU) umfassen, von denen jedes eine spezifische Funktion erfüllt².

Dies wird vor allem bei der Betrachtung von Bild 1 deutlich, das die Entwicklung der Fahrzeug-E/E-Architektur in drei Evolutionsstufen veranschaulicht. Die erste Stufe umfasst eine verteilte Struktur aus funktionspezifischen Steuergeräten und einem zentralen Gateway, verbunden durch ein (CAN-)Bus-System. Dies repräsentiert den traditionellen Ansatz in der Fahrzeugtechnik. Die zweite Stufe basiert auf domänenspezifischen Steuergeräten und nutzt neben dem (CAN-)Bus auch Ethernet-Verbindungen, um gestiegene Kommunikationsanforderungen zu erfüllen. Ethernet bietet höhere Datenraten, Interoperabilität, größere Bandbreite und bessere Informationssicherheit³. Diese Architektur kann komplexe Funktionen ausführen und Daten verarbeiten, wird jedoch zunehmend komplexer. Insbesondere im Kontext des autonomen Fahrens führt die herkömmliche Struktur zu einer erheblichen Zunahme von Kabelbaum, Kosten und Bandbreite⁴.

¹ s. HOFSTETTER 2023

² s. ASKARIPOOR ET AL. 2022, S. 4 f.

³ s. RUMEZ ET AL. 2020, S. 221853 f.

⁴ s. ZERFOWSKI U. LOCK 2019, S. 910 f.

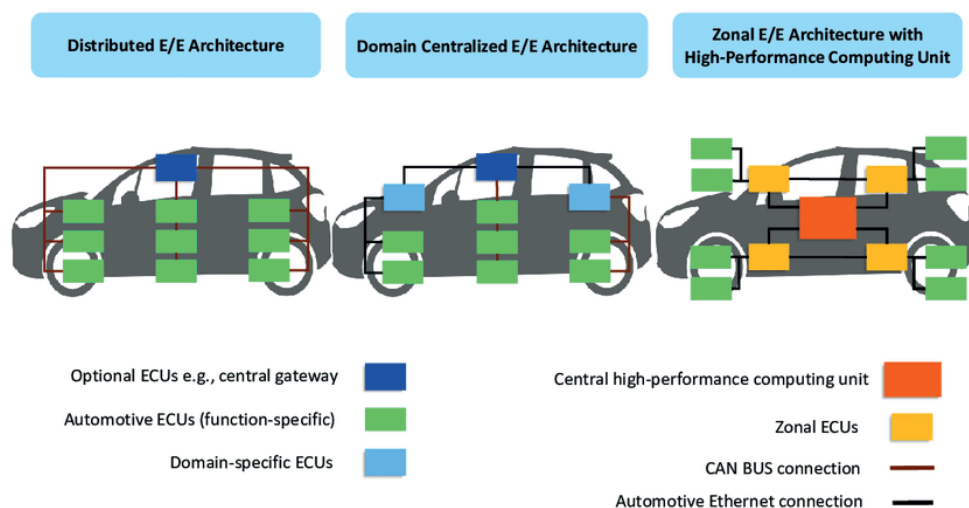


Bild 1: Entwicklungsstufen der E/E-Architekturen (ASKARIPOOR ET AL., 2022, S. 4)

Bild 1 zeigt die Entwicklung der Fahrzeug-E/E-Architektur. Die verteilt-funktionsspezifische E/E-Architektur wurde bis 2019 verwendet, während die domänenspezifische Architektur die heutige Fahrzeugarchitektur darstellt. Die zonale HP-Recheneinheit-Architektur zeigt die zukünftige Fahrzeug-E/E-Architektur.

Die Integration von Hardware und Software in konventionellen Fahrzeugen stellt eine weitere Herausforderung dar, da sie ein geschlossenes System bildet. Nach der Fahrzeugauslieferung können Entwickler*innen nur begrenzt eingreifen, da Softwareaktualisierungen technisch nur in Werkstätten durchgeführt werden können und aufgrund begrenzter Entwicklungsressourcen selten stattfinden. Der Fokus liegt daher auf der Entwicklung neuer Modelle und der Integration neuer Softwareanpassungen in zukünftigen Produktionslinien. Dies führt zu einem Widerspruch zwischen den Lebenszyklen von Hardware und Software angesichts der steigenden Nachfrage nach hochwertiger Fahrzeugsoftware⁵.

Fragestellung

Wie können Unternehmen in der Automobilindustrie auf die Herausforderungen der dezentralen Steuerung, der wachsenden Komplexität im autonomen Fahrbetrieb und der gestiegenen Erwartungen der Nutzer*innen reagieren, um effizienter zu werden, Kosten zu senken und eine branchenweite Innovation voranzutreiben? Eine Antwort auf die obige Fragestellung liegt in der Integration moderner Architekturen, der Harmonisierung von Software und Hardware sowie der Standardisierung von Softwarestandards. In Bezug auf die E/E-Architektur wurden dahingehend schon einige Lösungsansätze entwickelt.

Lösungen

Aufgrund der steigenden Anzahl von Funktionen, Anwendungen, Sensoren, Aktoren und höheren Sicherheitsstandards müssen moderne Architekturen die Integration neuer Technologien in bereits existierende ermöglichen. Daher wird die Zentralisierung der Software als unverzichtbar betrachtet. Die zukünftige E/E-Architektur er-

fordert einen zonalen Aufbau mit einer Hochleistungs-Recheneinheit (HP) als Grundlage. Diese Architektur umfasst funktionsbezogene und zonale Steuergeräte sowie eine zentrale Recheneinheit, die Informationen aus verschiedenen Fahrzeugbereichen aufnimmt, verarbeitet und überträgt⁶. Die hochentwickelten Ethernet-Verbindungen unterstützen die Interaktion auf kommunikativer Ebene, sodass die notwendigen hohen Geschwindigkeiten für die Datenübertragungen erreicht werden. Die zentrale Recheneinheit ermöglicht den Kontakt mit einer Cloud, so können Down- sowie Uploads in die Cloud und somit Over-the-Air(OTA)-Aktualisierungen stattfinden⁷.

Ferner erweist sich die bisher hardwaregebundene Lokalisierung der Software als hinderlich, weshalb eine Entkopplung von Software und Hardware notwendig ist⁸. In softwaredefinierten Fahrzeugen übernimmt die Hardware so eine funktionale Rolle mit abstrahierten und standardisierten Schnittstellen. Dies ermöglicht kontinuierliche Weiterentwicklung und Upgrades. Die klare Trennung von Hard- und Software ist auch für ein firmeneigenes Fahrzeugbetriebssystem (Vehicle OS) entscheidend, um die Erweiterbarkeit und Update-Funktionen zu verbessern⁹.

Ein Beispiel für diese Vereinfachung ist die hierarchische Aufteilung von Funktionen durch die „Connected Vehicle Systems Alliance“, wie in Bild 2 erkennbar.

Beginnend mit den Sensoren und Stellantrieben eines Fahrzeugs, erfolgt eine stufenweise Abstraktion der Funktionen auf einer übergeordneten Ebene. Durch genormte Schnittstellen erhalten Softwareentwickler die Gelegenheit, unmittelbar auf einzelne oder übergreifende Funktionen Einfluss zu nehmen. Diese Stufen der Vereinfachung erweisen sich für Software-

⁵ S. SLAMA ET AL. 2023, S. 2 f.

⁶ S. JIANG 2019, S. 5 f.

⁷ S. ASKARIPOOR ET AL. 2022, S. 3 f.

⁸ S. ASKARIPOOR ET AL. 2022, S. 4 f.

⁹ S. REICHT ET AL. 2021, S. 247 f.

entwickler als äußerst attraktiv, da ähnliche Vorgehensweisen bereits erfolgreich in anderen Industriezweigen angewendet werden¹⁰.

Microservices sind essenziell für Fahrzeuge mit E/E-Architektur, da sie spezifische Aktionen über definierte Schnittstellen umsetzen und kommunizieren. Wenn Hardwarefunktionen über genormte Schnittstellen zugänglich sind, können Microservices aus der serviceorientierten Schicht (SOA) darauf zugreifen. Wie bei Smartphones besteht eine Anwendung aus vielen abgestimmten Services, um spezifische Funktionen oder digitale Dienste zu bieten. Die Umstellung auf standardisierte Schnittstellen und eine serviceorientierte Struktur stellt daher ein grundlegendes Element für softwaregesteuerte Fahrzeuge dar.¹¹

Um die Bedürfnisse der Automobilindustrie besser zu erfüllen und einen branchenweiten Standard zu etablieren, wird daher seit einiger Zeit intensiv daran gearbeitet, einen einheitlichen Standardisierungsansatz zu entwickeln. Der AUTOSAR-Ansatz hat sich dabei als am weitesten verbreitet erwiesen und stammt von einer der führenden globalen Standardisierungsorganisationen für Fahrzeugsoftware, AUTOSAR. Diese Software wird stetig an die Anforderungen moderner Fahrzeuge angeglichen und aktualisiert. Beispielhaft wurde AUTOSAR Classic bereits durch die AUTOSAR-Adaptive-Plattform substituiert, um speziell den Bedürfnissen des autonomen Fahrbetriebs gerecht zu werden.¹²

Zudem haben die Potenziale von Over-the-Air(OTA)-Updates und der Druck durch Unternehmen wie Tesla die Softwareentwicklung im Automobilsektor verändert. Der „Continuous Integration“- und „Continuous Deployment“-Prozess (CI/CD-Prozess) wird nun auch hier verstärkt genutzt, um fortlaufende Änderungen und Aktualisierungen der Software während des gesamten Lebenszyklus zu ermöglichen. Dieser Prozess gewinnt angesichts moderner Anforderungen an Fahrzeugsoftware an Relevanz und bestehende Fahrzeuge profitieren von neuen Funktionalitäten.

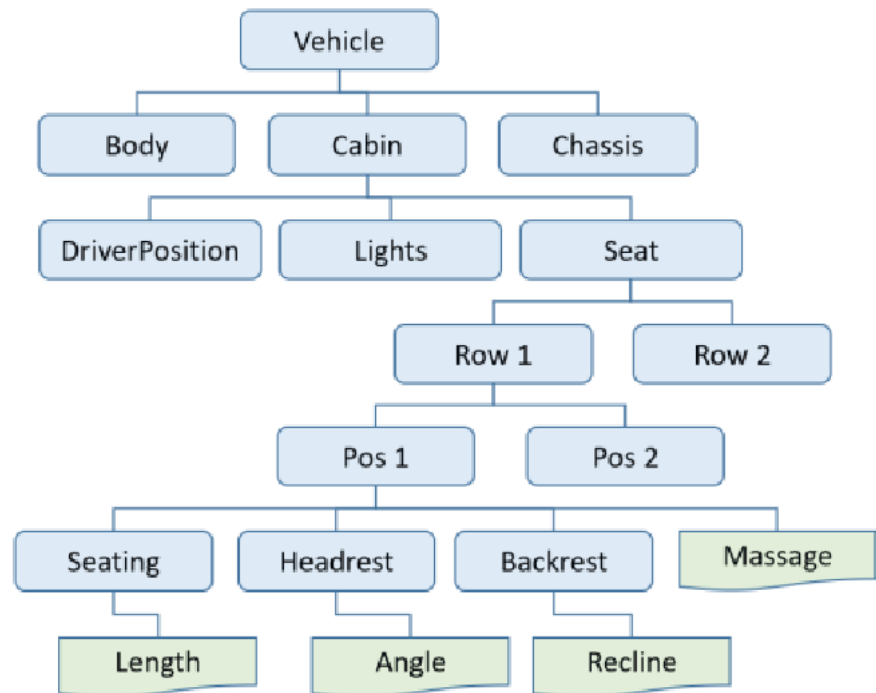


Bild 2: Fahrzeugsignal-API-Baum (basierend auf COVESA VSS) (SLAMA ET AL. 2023, S. 23)

Bild 2 zeigt, wie COVESA VSS eine baumartige API-Struktur für den Zugriff auf Fahrzeugsensoren und -antriebe als Signale definiert.

Ein etablierter CI-Prozess verbessert die Effizienz, indem er Entwicklungs- und Testzeiten verkürzt. Des Weiteren beeinflussen Fortschritte in Richtung kontinuierlicher Verbesserung die Entwicklungsstrategien, wobei technische Instrumente wie Künstliche Intelligenz eine wichtige Rolle spielen.¹³

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Unternehmen in der Automobilbranche durch die Einführung einer zentralen Recheneinheit und die Trennung von Soft- und Hardware nachhaltige Vorteile und Fortschritte in der E/E-Architektur erzielen können. Ein weiterer Schwerpunkt sollte auf der Standardisierung und dem Wandel in der Softwareentwicklung liegen, was Unternehmen herausfordert, stets aktuell zu bleiben und die Bedürfnisse der Nutzer*innen zu erfüllen. Die Verwendung neuer, innovativer Technologien sowie die Gewährleistung von Weiterentwicklungspotenzialen durch fortlaufende Updates und Aktualisierungen spielen ebenfalls eine bedeutende Rolle.

Die Zukunft der E/E-Architektur liegt in flexiblen, skalierbaren und hochintegrierten Systemen, die den steigenden Anforderungen an Rechenleistung, Konnektivität und Softwareintegration gerecht werden. Automobilhersteller und Zulieferer müssen sich auf diese Veränderungen einstellen und ihre Entwicklungsprozesse entsprechend anpassen, um wettbewerbsfähig zu bleiben.

¹⁰ S. SLAMA ET AL. 2023, S. 23 f.

¹¹ S. SLAMA ET AL. 2023, S. 25 f.

¹² S. FURST U. BECHTER 2016, S. 215 f.

¹³ S. GLASER ET AL. 2020, S. 2 ff.

Transformation der Wertschöpfung: Neue Geschäfts- modelle in der Automobilbranche

Der Wandel in der Automobilbranche ist nicht nur durch technische Innovationen, sondern auch durch die Transformation der Wertschöpfungskette geprägt. Nachdem im vorherigen Kapitel die signifikanten technischen Veränderungen im Automobilsektor beleuchtet wurden, richtet sich der Fokus nun auf den dadurch entstehenden Mehrwert. Eine erfolgreiche Wertschöpfung ist für jedes gewinnorientierte Unternehmen essenziell. Die neuen digitalen Möglichkeiten bieten zusätzlichen Spielraum zur Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen, da bei traditionellen Fahrzeugen der Wert überwiegend von der Hardware bestimmt wird, während die integrierte Software nur unterstützende funktionale Aufgaben erfüllt^{1,2}.

Herausforderungen

Die Transformation der Wertschöpfung in der Automobilbranche hin zu neuen Geschäftsmodellen bringt komplexe Herausforderungen mit sich, die sowohl technologische als auch marktspezifische Aspekte betreffen. Eine der Hauptherausforderungen besteht darin, die notwendige Flexibilität und Agilität in den Entwicklungsprozessen zu gewährleisten, um kontinuierlich auf die rasanten Veränderungen im digitalen Umfeld reagieren zu können.

Softwaredefinierte Fahrzeuge erfordern ständige Updates und Innovationen, was erhebliche Investitionen in Forschung und Entwicklung (siehe Bild 4) sowie eine enge Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Abteilungen und externen Partnern erfordert.

Zusätzlich verlangt die Verschiebung der Wertschöpfung von der Hardware zur Software eine grundlegende Neuausrichtung der Geschäftsmodelle. Unternehmen müssen nicht nur die technologische Infrastruktur bereitstellen, sondern auch neue Einnahmequellen durch digitale Services und After-Sales-Angebote erschließen. Dies bedeutet, dass auf der Nutzerseite erwartet wird, dass sie die Unternehmen auf die Entwicklung und Bereitstellung von Diensten wie Unterhaltungsangeboten, Parkleitsystemen und geteilter Mobilität (siehe Bild 4) konzentrieren müssen, die auf Nutzerdaten basieren und kontinuierlich optimiert werden können.

¹ s. LIU ET AL. 2022, S. 184 f.

² s. ebda, S. 183 f.

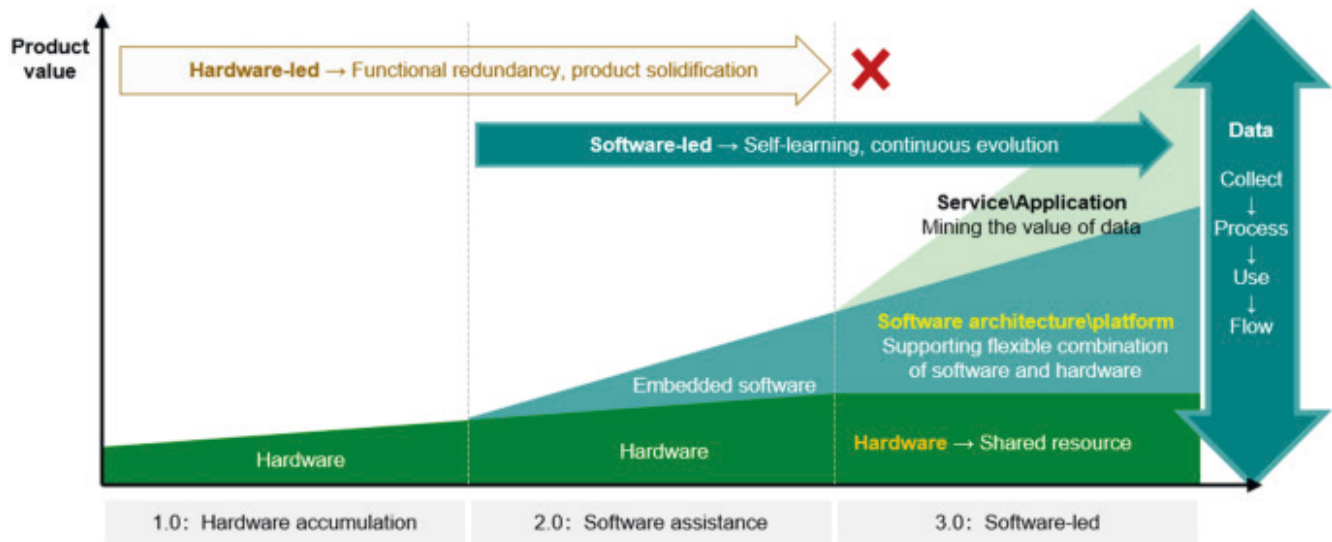


Bild 3: Veränderungen in der Wertökologie von Automobilprodukten durch Software und Applikationen (Liu et al. 2022, S. 183)

Bild 3 demonstriert, inwieweit Software und die damit verbundene Datengenerierung zukünftig den größten Teil des ökonomischen Werts ausmachen werden. Dies verdeutlicht eine drastische Veränderung und Neugestaltung in der Wertökologie (Liu et al. 2022, S. 183).

In Bild 4 werden die anzunehmenden, weitreichenden Auswirkungen von softwaredefinierten Fahrzeugen auf die Wertschöpfung gezeigt und anhand der *Smile curve* verdeutlicht. Es lässt sich erkennen, dass jedoch nicht alle Bereiche gleichermaßen betroffen sein werden. Die Wertschöpfungslineie der softwaredefinierten Fahrzeuge wird hier als „SDF-Wertschöpfung“ bezeichnet. Dabei zeigt sich, dass sich die Wertschöpfung an beiden Enden signifikant verändert. In der Forschung wird die Entwicklung von Spitzentechnologien wie dem autonomen Fahren, Infotainment und Intelligenten Mensch-Maschine-Schnittstellen voraussichtlich eine wesentliche Rolle für den Wettbewerbsvorteil zukünftiger Marktführer spielen. Auf der Nachfrageseite wird erwartet, dass neue Servicemodelle ein großes Wertschöpfungspotenzial für den After-Sales-Markt sowie völlig neue Nutzungsmöglichkeiten schaffen. Es wird daher prognostiziert, dass sich die Wertschöpfung von traditionellen Fahrzeugverkäufen hin zum Nachverkauf verlagern und zu wiederkehrenden Einnahmen führen wird^{3,4}.

Gleichzeitig führt die Öffnung des bisherigen Ökosystems für neue Marktteilnehmer zu einem intensiveren Wettbewerb, wodurch etablierte Unternehmen gezwungen sind, ihre Strategien anzupassen und ihre Marktposition zu verteidigen. Somit erhöhen die Integration von Drittanbieter-Lösungen und die Notwendigkeit von Übernahmen und Fusionen, um technologisch wettbewerbsfähig zu bleiben, den Druck auf die Unternehmen⁵.

Die Balance zwischen der schnelllebigen digitalen Wertschöpfung, die eine rasche Anpassung an Marktveränderungen erfordert, und der physischen Wertschöpfungskette, die

langfristige Planung und Stabilität benötigt, stellt eine weitere Herausforderung dar⁶.

Fragestellung

Wie können Automobilunternehmen angesichts der Transformation der Wertschöpfung hin zu neuen Geschäftsmodellen die notwendige Flexibilität und Agilität in ihren Entwicklungsprozessen gewährleisten, um auf die rasanten Veränderungen im digitalen Umfeld zu reagieren, während sie gleichzeitig ihre Marktposition verteidigen und neue Einnahmequellen durch digitale Services erschließen?

Lösungen

Um den komplexen Herausforderungen in der Automobilbranche zu begegnen, sind mehrere umfassende Lösungsansätze erforderlich: Zunächst müssen eine hohe Flexibilität und Agilität in den Entwicklungsprozessen gewährleistet werden, um schnell auf Veränderungen im digitalen Umfeld reagieren zu können. Dies kann durch die Einführung agiler Managementmethoden er-

³ s. Xu 2019, S. 61

⁴ s. Xu 2019, S.59 – 62

⁵ s. ebda, S. 58 – 80

⁶ s. SLAMA ET AL., 2023, S. 36 f.

Value Creation for Intelligent Connected Vehicles: An Industry...

61

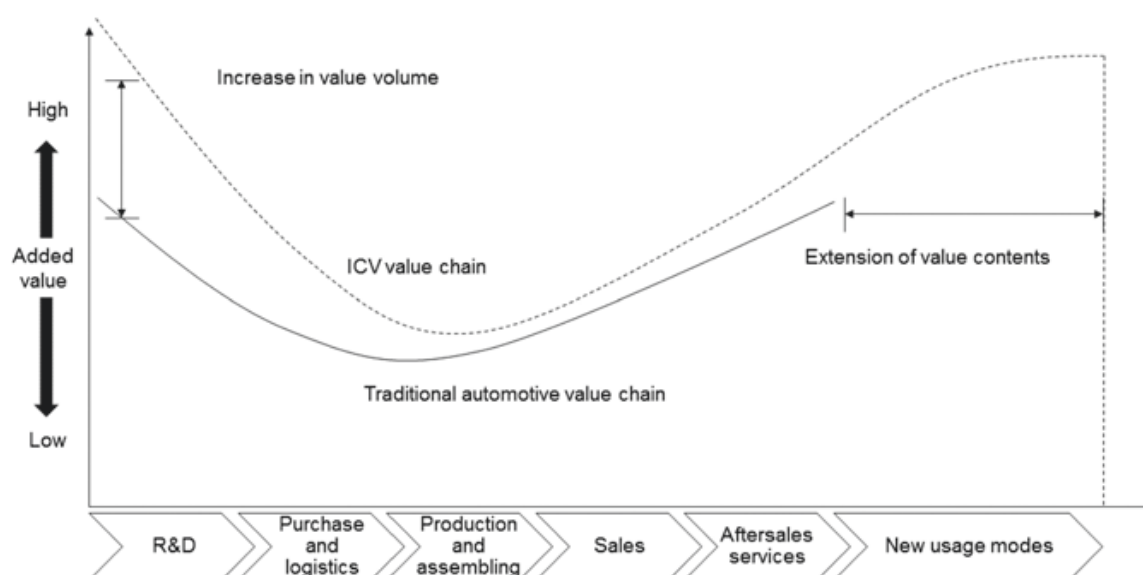


Bild 4: Wertschöpfungspotenziale nach speziellen Bereichen (Xu 2019, S. 61)

reicht werden, die eine iterative und adaptive Planung ermöglichen.

Eine enge Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Abteilungen, wie Forschung und Entwicklung, Produktion und IT, sowie die Einbindung externer Partner und Drittanbieter sind ebenfalls entscheidend. Denn diese interdisziplinäre Kooperation fördert den schnellen Wissensaustausch und beschleunigt Innovationsprozesse.

Softwaredefinierte Fahrzeuge erfordern zudem kontinuierliche Updates und Innovationen, was durch Investitionen in Forschung und Entwicklung unterstützt werden muss. Unternehmen sollten strategische Partnerschaften mit Technologieführern eingehen und sich aktiv an der Entwicklung von Standards und Normen beteiligen, um die Integration neuer Technologien zu erleichtern. Die 'Advanced Driver Assistance Systems' (ADAS) werden dabei einen maßgeblichen Beitrag zur Steigerung der Wertökologie leisten.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist, dass die Standardisierung zur Senkung der Kosten für Originalprodukte beitragen kann. Softwaredefinierte Fahrzeuge ermöglichen dadurch eine serviceorientierte Struktur, die sowohl die Komplexität als auch die Entwicklungskosten effizient reduziert⁷.

Übernahmen und Fusionen sind ebenfalls eine effektive Strategie, um technologische Lücken zu schließen und die eigene Wettbewerbsfähigkeit zu stärken. Diese Maßnahmen ermöglichen es etablierten Unternehmen, von den Innovationen neuer Marktteilnehmer zu profitieren und ihre Marktposition zu verteidigen⁸.

Die Verlagerung der Wertschöpfung von Hardware zu Software eröffnet neue Einnahmequellen durch digitale Services und After-Sales-Angebote. Unternehmen müssen sich auf die Entwicklung und Bereitstellung von Diensten wie Unterhaltungsangeboten, Parkleitsystemen und geteilter Mobilität konzentrieren, die auf Nutzerdaten basieren und kontinuierlich optimiert werden können. Diese Dienste bieten nicht nur zusätzlichen Mehrwert für die Kunden, sondern schaffen auch wiederkehrende Einnahmen, die die Abhängigkeit von einmaligen Fahrzeugverkäufen reduzieren. Durch die Nutzung von OTA-Updates (Over-the-Air) können Software-Updates und neue Funktionen schnell und kosteneffizient bereitgestellt werden, was die Kundenbindung stärkt und gleichzeitig Rückrufe und damit verbundene Kosten minimiert⁹.

⁷ S. LIU ET AL., 2022, S. 183 f.

⁸ S. XU 2019, S. 58 – 80

⁹ S. LIU ET AL., 2022, S. 183 f.

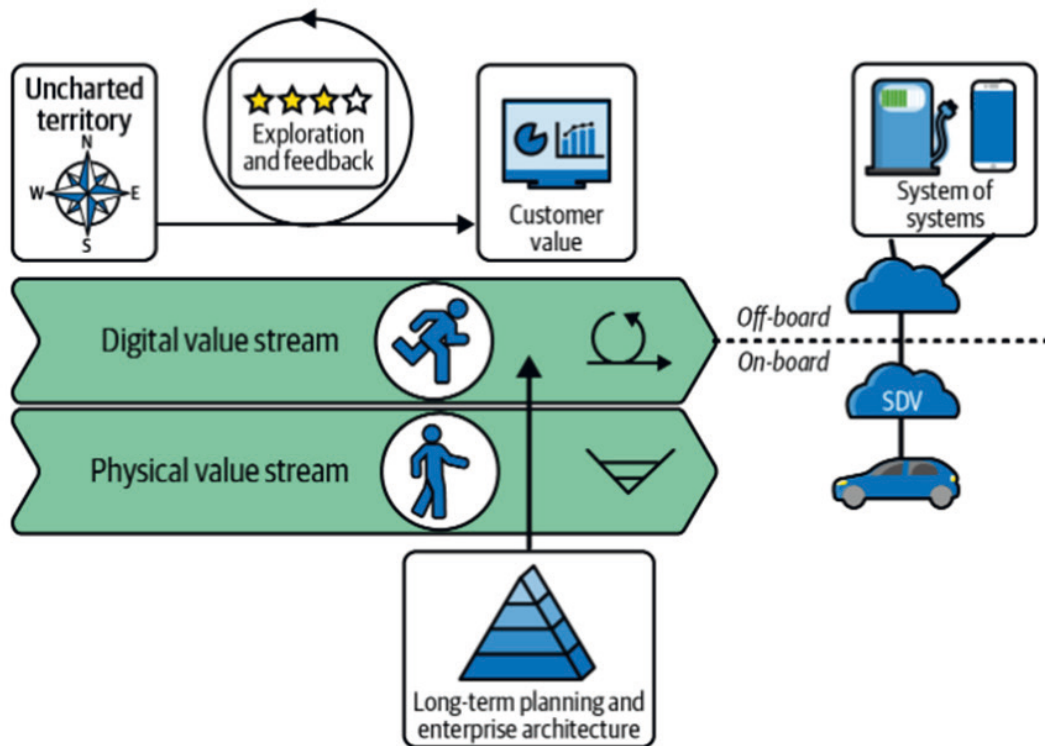


Bild 5: Divergenzen in den Geschwindigkeiten und Methodiken zwischen digitaler und physischer Wertschöpfung (SLAMA ET AL. 2023, S. 36)

Bild 5 zeigt die Schnelligkeit von der digitalen zur physischen Wertschöpfungskette sowie die verschiedenen Mechanismen, die für die beiden Ansätze verwendet werden.

Die Balance zwischen der schnelllebigsten digitalen Wertschöpfung und der langfristig geplanten physischen Wertschöpfungskette ist eine weitere wichtige Herausforderung. Die digitale Wertschöpfungskette erfordert eine hohe Anpassungsfähigkeit, zum Beispiel durch OTA-Updates und standardisierte Schnittstellen im Fahrzeug, und eine enge Verzahnung mit agilen Managementansätzen, um schnell auf Marktveränderungen reagieren zu können. Mechanismen zur Steigerung der Kundenzufriedenheit, wie personalisierte Dienste und kontinuierliche Verbesserungen, basierend auf Nutzerfeedback, sind hier von zentraler Bedeutung. Die physische Wertschöpfungskette ist stark von einer langfristigen Planung abhängig und erfordert eine sorgfältige Integration in die Unternehmensarchitektur. Es ist essenziell, bewährte Methoden wie das V-Modell anzuwenden, um die Einhaltung hoher Standards bei hoher Leistung und Zuverlässigkeit sicherzustellen¹⁰.

Zusammenfassung

Die Transformation der Wertschöpfung in der Automobilbranche hin zu neuen Geschäftsmodellen wird maßgeblich durch digitale Innovationen und den Einsatz von software-definierten Fahrzeugen geprägt. Jedoch müssen Unternehmen in der Automobilbranche eine duale Strategie verfolgen, die sowohl die Anforderungen der digitalen als auch der physischen Wertschöpfung berücksichtigt. Durch die gezielte Trennung und Optimierung der Wertschöpfungsströme können die Unternehmen sowohl auf kurzfristige Marktveränderungen reagieren als auch langfristige Stabilität und Planungssicherheit gewährleisten. Außerdem entsteht durch die Öffnung des Marktes für neue Teilnehmer und die Einführung neuer Technologien somit ein wettbewerbsfähiges Umfeld, das sowohl Herausforderungen als auch Chancen bietet. Zukünftige Geschäftsmodelle werden insgesamt verstärkt auf digitale Services und wiederkehrende Einnahmen ausgerichtet sein, was eine grundlegende Neugestaltung der Wertschöpfungskette erfordert.

¹⁰ S. SLAMA ET AL. 2023, S. 36 f.

Das Fahrzeug als digitale Plattform: Integration vielfältiger Dienste und Funktionen

Mit dem Übergang zu softwaredefinierten Fahrzeugen erleben sowohl die Fahrzeuge als auch ihre Hersteller einen grundlegenden Wandel. Fahrzeuge entwickeln sich zunehmend zu Plattformen für personalisierte On-Demand-Dienste und fungieren nicht mehr nur als physische Produkte, sondern vielmehr als digitale Schnittstellen zu einer Vielzahl von Ressourcen. Diese Transformation wird voraussichtlich eine ähnliche Dynamik aufweisen wie die Mobiltelefonbranche vor einigen Jahrzehnten¹.

In der heutigen digitalen Ära gewinnen Plattformstrategien zunehmend an Bedeutung. Sie bieten eine Grundlage, auf der Netzwerkeffekte für verschiedene Interessengruppen genutzt werden können. Die steigende Anzahl von Untersuchungen zu digitalen Plattformen unterstreicht das wachsende Interesse und das immense Potenzial in diesem Bereich².

¹ s. Xu 2019, S. 65 f.

² s. Weiss et al., 2019, S. 100 f.



Herausforderungen

Die Implementierung einer Fahrzeugplattform hält verschiedene Herausforderungen bereit: Zunächst muss eine Infrastruktur geschaffen werden, die Netzwerkeffekte für verschiedene Parteien ermöglicht. Dies erfordert erhebliche Investitionen in Technologie und Softwareentwicklung.

Zudem müssen Hersteller sicherstellen, dass die Plattform sicher und zuverlässig ist, um das Vertrauen der Nutzer*innen zu gewinnen. Darüber hinaus müssen Datenschutz und Datensicherheit gewährleistet sein, um so auch die Privatsphäre jener zu schützen.

Ein weiteres Problem besteht darin, die Vielfalt an Apps und Diensten zu verwalten und gleichzeitig eine nahtlose Integration in das Fahrzeug zu gewährleisten. Die hohe Komplexität der Fahrzeugsoftware und die unterschiedlichen Anforderungen der Nutzer*innen erfordern flexible und skalierbare Lösungen.

Fragestellung

Wie können Technologieunternehmen eine erfolgreiche Cloud-Service-Plattform entwickeln und implementieren, die sowohl die Bedürfnisse der Nutzerinnen und Nutzer als auch die Anforderungen der Entwickler erfüllt? Wie kann zudem die Integration von Drittanbieter-Apps und -Diensten optimiert werden, sodass gewährleistet werden kann, dass Geschäftsmodelle verwendet werden, welche sich für die Monetarisierung der Plattform am besten eignen und die kontinuierliche Weiterentwicklung und Wartung der Plattform sicherstellen?

Lösungen

Plattformstrategien haben bereits in verschiedenen Branchen ihre disruptive Wirkung und Skalierbarkeit unter Beweis gestellt. Unternehmen wie Apple demonstrieren, wie erfolgreich die Kombination von Pipeline- und Plattformstrategien sein kann. Unter einer Pipelinestrategie versteht man die klassische Wertschöpfungskette, wobei Ausgangsmaterialien auf der einen und das Endprodukt auf der anderen Seite stehen. Im Automobilsektor könnte eine vergleichbare Strategie angewendet werden, bei der das Fahrzeug das Endprodukt darstellt, ähnlich wie das iPhone bei Apple. Apple integriert die klassische Wertschöpfung durch eine Pipelinestrategie mit einer Plattformstrategie, verkörpert durch den App-Store, der externe Entwickler mit den Kunden verbindet und durch Gebühren Einnahmen generiert³.

Ein weiterer vielversprechender Ansatz ist die Entwicklung eines eigenen Betriebssystems für Fahrzeuge, auch bekannt als „Vehicle OS“.

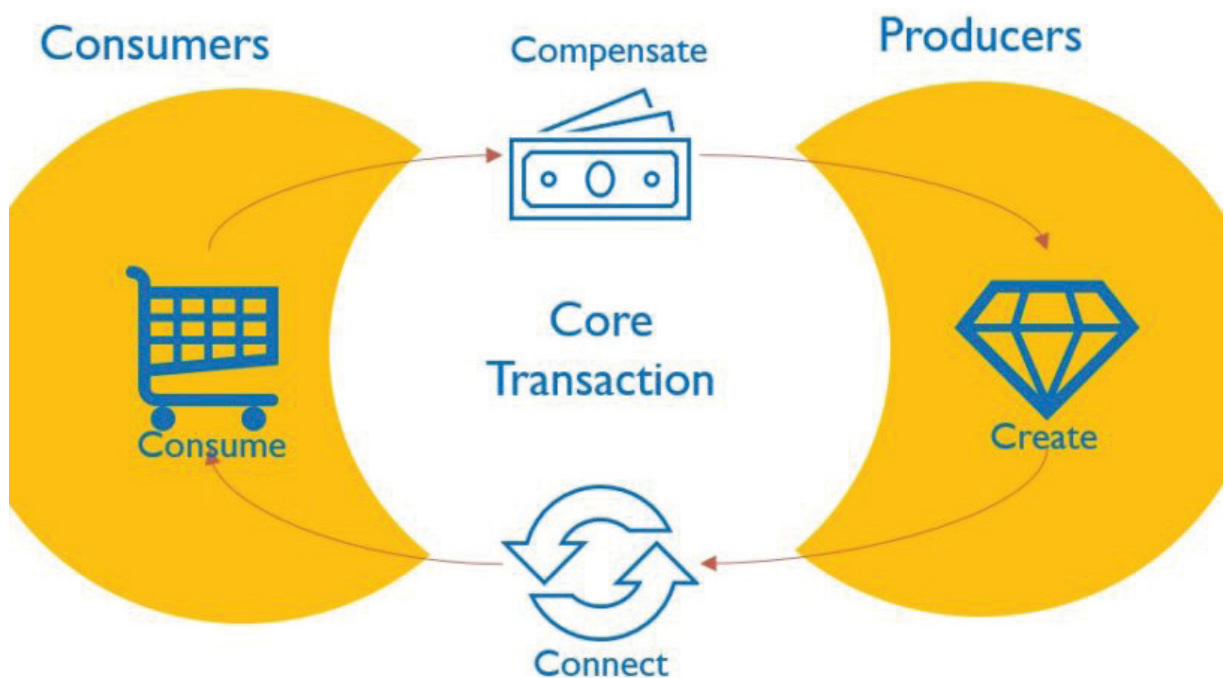


Bild 6: Plattformmodell zwischen Kunden und Produzenten (HARSH 2021)

Das Diagramm zeigt die Beziehung zwischen Kund*innen und Produzenten in einem Plattformmodell. Konsument*innen konsumieren die von Produzenten erstellten Waren oder Dienstleistungen und leisten monetäre Kompensation über die Plattform. Beide Parteien sind somit durch eine zentrale Plattform verbunden.

³ S. VAN ALSTYNE ET AL. 2016, S. 54 ff.

Dies ermöglicht es Herstellern, eine zentrale Plattform zu schaffen, die externe Entwickler und Kund*innen miteinander verbindet. Ein Beispiel hierfür ist die Integration von Netflix in die Fahrzeugbetriebssoftware, um während des Ladevorgangs der BMW-Kundschaft Unterhaltung zu bieten.

Diese strategischen Partnerschaften mit führenden Technologieunternehmen können zudem zu einer effizienten Entwicklung der notwendigen Infrastruktur und zur Maximierung der Netzwerkeffekte genutzt werden. Durch gemeinsame Investitionen können die finanziellen Belastungen geteilt und modernste Technologien genutzt werden. So haben Ford und Google beispielsweise eine Partnerschaft geschlossen, um die Fahrzeugkonnektivität zu verbessern und gleichzeitig die Entwicklungsressourcen zu teilen⁵.

Zudem ist die Einführung strenger Sicherheitsprotokolle und regelmäßiger Updates unerlässlich, um die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Plattform zu gewährleisten. Dies stärkt das Vertrauen der Nutzer*innen und fördert die Akzeptanz der Plattform. Eine durchgehende Softwareintegration kann die Sicherheit verbessern, indem sie eine umfassende Überwachung des gesamten Codes ermöglicht. Dies reduziert die Anzahl der möglichen Sicherheitslücken und vereinfacht die Wartung und Aktualisierung der Systeme.^{6,7}

Darüber hinaus sollten umfassende Datenschutz- und Sicherheitsrichtlinien implementiert werden, um die Privatsphäre der Nutzer*innen zu schützen. Dies umfasst die Verschlüsselung sensibler Daten, die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften und die Transparenz gegenüber den Nutzerinnen und Nutzern hinsichtlich der Datennutzung⁸. Durch diese Maßnahmen kann das Vertrauen der Nutzer*innen gestärkt und ein hohes Maß an Datensicherheit gewährleistet werden.

Einige Erstausrüster haben bereits begonnen, App-Stores in ihre Fahrzeugbetriebssysteme zu integrieren. Derzeit liegt der Fokus hauptsächlich auf Infotainment-Apps wie Musik, Wetter, Spielen, Nachrichten und Podcasts. Die nächste Generation dieser Plattformen wird voraussichtlich erweiterte Möglichkeiten bieten, um den gestiegenen Kundenerwartungen gerecht zu werden. Denn durch die Nutzung und Steuerung von Daten von Fahrzeugsensoren und Aktoren kann das Nutzer*innenerlebnis weiter verbessert werden.⁹

Hersteller entwickeln nicht nur eigene Betriebssysteme, sondern bieten zunehmend auch Smartphone-Integrationen wie Apple CarPlay und Android Auto an. Diese Anwendungen laufen zwar auf dem Smartphone, werden jedoch auf dem zentralen Bildschirm des Fahrzeugs dargestellt. Dabei nutzen die Smartphone-Betriebssysteme das Infotainment-System des Fahrzeugs, um eigene Inhalte anzuzeigen und digitale Dienste bereitzustellen. Diese Prozesse zeigen, inwieweit Hersteller neben der Eigenentwicklung von Plattformen auch andere Lösungen von Technologieunternehmen in ihre Fahrzeuge einbinden und sie somit als „Platform-as-a-Service“ (PaaS) anbieten können¹⁰.

Die Implementierung solcher Plattformen ermöglicht es Herstellern, eine Vielzahl von Diensten anzubieten, die über das traditionelle Fahrerlebnis hinausgehen. Dies umfasst nicht nur Infotainment, sondern auch Sicherheits- und Wartungsdienste, personalisierte Einstellungen und sogar autonome Fahrfunktionen.

Zusammenfassung

Die Umstellung auf softwaredefinierte Fahrzeuge revolutioniert die Automobilbranche, indem Fahrzeuge zu Plattformen für personalisierte On-Demand-Dienste werden. Diese Entwicklung erfordert erhebliche Investitionen in Technologie und Software, um Netzwerkeffekte zu ermöglichen und die Sicherheit sowie den Datenschutz zu gewährleisten.

Erfolgreiche Plattformstrategien, wie sie in anderen Branchen erprobt wurden, können als Modell dienen. Partnerschaften mit Technologieunternehmen, die Entwicklung eigener Betriebssysteme und die Einführung strenger Sicherheitsprotokolle sind entscheidende Faktoren für den Erfolg.

Hersteller integrieren zunehmend Smartphone-Apps und entwickeln umfassende Plattformen, um den Nutzer*innen ein erweitertes und personalisiertes Fahrerlebnis zu bieten. Durch diese Transformation werden Fahrzeuge nicht nur physische Produkte, sondern digitale Schnittstellen, die ein breites Spektrum an Diensten und Funktionen bereitstellen.

Diese Entwicklung verändert das Geschäftsmodell der Automobilbranche grundlegend, indem sie neue Einnahmequellen durch digitale Dienste und Abonnements erschließt. Gleichzeitig müssen Hersteller die wachsenden Anforderungen an Cybersecurity bewältigen, um die zunehmende Vernetzung der Fahrzeuge vor Bedrohungen zu schützen. Darüber hinaus eröffnet die Software-Integration Möglichkeiten für kontinuierliche Updates und Verbesserungen, die das Fahrzeug während seines gesamten Lebenszyklus auf dem neuesten Stand halten und den Nutzer*innen ein stetig optimiertes Fahrerlebnis bieten.

⁴ S. WEBER U. RAISCH 2023, S. 1 ff.

⁵ <https://corporate.ford.com/articles/products/ford-and-google-to-accelerate-auto-innovation.html> (Link zuletzt geprüft: 28.03.2025)

⁶ S. FLETCHER ET AL. 2016

⁷ S. CHIAO ET AL. 2024

⁸ S. EUROPÄISCHER DATENSCHUTZAUSTAUSCH 2020, S. 25 – 28

⁹ S. SLAMA ET AL. 2023, S. 21 f.

¹⁰ S. WEISS ET AL. 2019, S. 102 f.

Neugestaltung der Industriebeziehungen: Partnerschaften für softwaredefinierte Fahrzeuge

Der Übergang von traditionellen Fahrzeugtechnologien zu softwaredefinierten Fahrzeugen, die stark digitalisiert und vernetzt sind, schafft ein völlig neues industrielles Ökosystem und bringt Veränderungen in den Industriebeziehungen mit. Erstausrüster (OEM), Zulieferer und neue Marktteilnehmer stehen vor der Herausforderung, ihre bisherigen Strukturen und Geschäftsmodelle zu überdenken. Während früher starre und hierarchische Lieferketten das Bild prägten, erfordert die Zukunft eine flexiblere und dynamischere Herangehensweise mit mehr Bereitschaft zur Kollaboration.¹

Herausforderungen

Die bestehende Struktur der Automobilindustrie war lange Zeit durch eine kettenartige Beziehung zwischen den verschiedenen Akteuren geprägt. In diesem System koordinierte der Erstausrüster die gesamte Lieferkette, während Tier-1-Zulieferer unabhängig voneinander ihre Komponenten an den OEM lieferten. Diese abgeschlossene Struktur und die klar verteilten Aufgaben sorgten dafür, dass Unternehmen wie Chip-Zulieferer kaum an übergeordneten Themen beteiligt waren. In einer Zeit, in der die Fahrzeugtechnik hauptsächlich auf mechanische Funktionen beschränkt war, funktionierte dieser Ansatz gut. Doch die zunehmende Digitalisierung der Fahrzeuge und die Integration von Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) erfordern ein Umdenken.²

Mit der fortschreitenden Digitalisierung verschwimmen die bisherigen Grenzen zwischen den Aufgaben der einzelnen Akteure. Neue Marktteilnehmer, insbesondere aus dem IKT-Bereich, drängen verstärkt in das Ökosystem der Automobilindustrie. Diese Unternehmen bringen ausgeprägte Softwareentwicklungsfähigkeiten mit, die für die Entwicklung von softwaredefinierten Fahrzeugen unerlässlich sind. Die traditionellen Komponentenzulieferer und Erstausrüster müssen sich diesen neuen Entwicklungen anpassen, um den modernen Anforderungen der Nutzer *innen gerecht zu werden. Gleichzeitig eröffnet die neue Fahrzeugarchitektur mit einem zentralen Rechenkern und gesteigerter Rechenleistungsanforderung neue Möglichkeiten für Chip-Zulieferer, die zu direkten Lieferanten der Erstausrüster aufsteigen können.³

¹ s. LIU ET AL. 2022, S.184 f.

² s. ebda, a. a. O.

³ s. ebda, a. a. O.

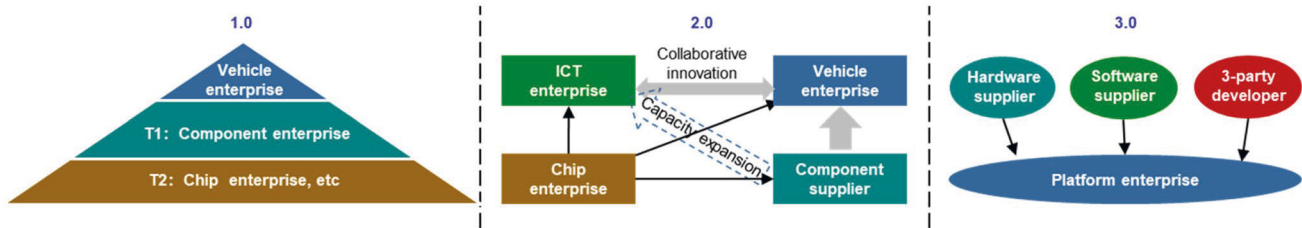


Bild 7: Drei Phasen der Entwicklung des industriellen Modells der Automobilindustrie (LIU ET AL. 2022, S. 184)

Bild 7 zeigt die Entwicklung der Geschäftsbeziehungen in der Automobilindustrie in drei Phasen. In der ersten Phase (1.0) gibt es eine kettenartige Struktur, bei der der Erstausrüster (OEM) die gesamte Lieferkette koordiniert, mit klar getrennten Aufgaben für Tier-1- und Tier-2-Zulieferer. In der zweiten Phase (2.0) verschwimmen diese Grenzen durch die Digitalisierung, und neue Akteure wie ICT-Unternehmen treten in den Markt ein. Hier entsteht eine kollaborative Innovation zwischen Fahrzeugunternehmen, Komponentenlieferanten und Chipunternehmen. Die dritte Phase (3.0) führt zu einer Plattformstruktur, bei der der Erstausrüster als Integrator fungiert und die Architektur von Hard- und Software definiert. Softwareanbieter und Drittentwickler gewinnen zunehmend an Bedeutung und tragen maßgeblich zur Wertschöpfung bei.

Ein Beispiel für die Herausforderung der Integration neuer Technologien ist die Zusammenarbeit zwischen General Motors und dem Softwareunternehmen Cruise, das autonome Fahrlösungen entwickelt. Diese Partnerschaft zeigt, wie traditionelle Automobilhersteller und Technologiefirmen zusammenarbeiten müssen, um die Anforderungen der Zukunft zu erfüllen. Cruise hat Zugang zu den umfangreichen Produktionskapazitäten und dem Know-how von General Motors, während GM von den fortschrittlichen Softwarelösungen von Cruise profitiert⁴.

Fragestellung

Vor dem Hintergrund dieser tiefgreifenden Veränderungen stellt sich die Frage, wie das industrielle Ökosystem der Automobilbranche so umgestaltet werden kann, dass es den Anforderungen moderner, softwaredefinierter Fahrzeuge gerecht wird. Welche neuen Partnerschaften und Kooperationsmodelle sind notwendig, um die Integration von Hardware und Software zu optimieren und gleichzeitig die Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit der Branche zu stärken? Diese Fragestellung gewinnt an Dringlichkeit, da die bisherigen Strukturen und Prozesse den neuen Anforderungen nicht mehr gerecht werden und eine flexible, offene und kollaborative Herangehensweise erforderlich ist.

Lösungen

Die Neugestaltung der Industriebeziehungen erfordert eine umfassende Transformation hin zu einer offenen Plattformstrategie. Erstausrüster müssen die zentrale Rolle als Integratoren über-

nehmen und die Architektur von Hard- und Software definieren. Diese offene Plattformstrategie ermöglicht eine flexible Integration von neuen Technologien und Lösungen, was insbesondere für die Einbindung von Softwareanbietern und Drittanbietern im Bereich Vehicle-to-Everything (V2X) entscheidend ist.⁵

Ein zentraler Aspekt dieser Transformation ist die Entwicklung neuer Partnerschaftsmodelle, die auf Zusammenarbeit und Co-Innovation basieren. Traditionelle Erstausrüster und Zulieferer müssen eng mit IKT-Unternehmen zusammenarbeiten, um gemeinsam neue Innovationen zu schaffen. Diese Kooperationen können dazu beitragen, die Entwicklungsgeschwindigkeit zu erhöhen und die Markteinführungszeiten für neue Technologien zu verkürzen. Ein Beispiel hierfür ist die Zusammenarbeit von Volkswagen mit Microsoft, um eine gemeinsame Cloud-Plattform für vernetzte Fahrzeuge zu entwickeln. Diese Partnerschaft ermöglicht es Volkswagen, auf die umfassenden Cloud-Dienste von Microsoft zuzugreifen und somit die Entwicklung vernetzter Fahrzeuge zu beschleunigen⁶.

Ein weiteres Beispiel für erfolgreiche Partnerschaften ist die Zusammenarbeit von BMW und IBM im Bereich Künstliche Intelligenz. Diese Partnerschaft zielt darauf ab, KI-basierte Lösungen für die Automobilindustrie zu entwickeln, die von verbesserten Fahrerassistenzsystemen bis hin zu personalisierten Fahrerlebnissen reichen. Durch die Kombination der Automobilkompetenz von BMW und der KI-Expertise von IBM können innovative Lösungen entwickelt werden, die den Anforderungen der Nutzer*innen gerecht werden und gleichzeitig die Wettbewerbsfähigkeit der Branche stärken⁷.

⁴ <https://www.autonews.com/mobility-report-newsletter/gms-cruise-unit-works-get-robotaxis-back-road> (Link zuletzt geprüft: 28.01.2025)

⁵ s. XU 2019, S. 59 – 62

⁶ s. LIU ET AL. 2022, S. 184 f.

⁷ s. NELLIS 2021

⁸ s. LUNDEN 2016



Die Integration von Drittanbietern spielt ebenfalls eine wichtige Rolle in der neuen Plattformstrategie: Drittanbieter können zusätzliche Dienstleistungen und Anwendungen bereitstellen, die den Mehrwert der Fahrzeuge erhöhen und neue Einnahmequellen für die Automobilhersteller schaffen. Die offene Plattform ermöglicht es diesen Anbietern, ihre Lösungen nahtlos in das Fahrzeug zu integrieren und so das gesamte Ökosystem zu bereichern. Die wachsende Bedeutung von Drittanbietern zeigt sich auch in der steigenden Zahl von Kooperationen zwischen Automobilherstellern und Technologieunternehmen, wie beispielsweise die Partnerschaft von Mercedes-Benz und NVIDIA zur Entwicklung einer neuen Fahrzeugarchitektur, die Künstliche Intelligenz nutzt und autonomes Fahren unterstützt⁸.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Neugestaltung der Industriebeziehungen ist der Aufstieg der Chip-Zulieferer zu direkten Lieferanten der Erstausrüster. Die neue Fahrzeugarchitektur mit einem zentralen Rechenkern und gesteigerter Rechenleistungsanforderung eröffnet den Chip-Zulieferern neue Möglichkeiten, sich als Tier-1-Zulieferer zu positionieren. Diese Entwicklung trägt dazu bei, die Innovationskraft der Branche zu stärken und die Anforderungen der modernen Fahrzeugtechnik zu erfüllen. Ein Beispiel hierfür ist die Zusammenarbeit von Tesla mit dem Chip-Hersteller NVIDIA, um leistungsfähige Prozessoren für das autonome Fahren zu entwickeln. Diese Partnerschaft zeigt, wie wichtig es ist, dass Automobilhersteller und Chip-Zulieferer eng zusammenarbeiten, um die technologischen Anforderungen der Zukunft zu erfüllen⁹.

Zusammenfassung

Die Neugestaltung der Industriebeziehungen in der Automobilbranche ist eine notwendige Antwort auf die fortschreitende Digitalisierung und die Entwicklung softwaredefinierter Fahrzeuge. Eine offene Plattformstrategie, neue Partnerschaftsmodelle und die Integration von Drittanbietern sind zentrale Elemente dieses Wandels. Erstausrüster müssen als zentrale Integratoren agieren und die Architektur von Hard- und Software definieren. Gleichzeitig bietet die neue Fahrzeugarchitektur den Chip-Zulieferern und IKT-Unternehmen neue Chancen, sich in das Plattformökosystem zu integrieren und gemeinsam Innovationen zu schaffen. Diese Entwicklungen werden die Wettbewerbsfähigkeit der Branche stärken und den Anforderungen moderner Nutzerinnen und Nutzer gerecht werden. Die Zukunft der Automobilindustrie liegt in der flexiblen, dynamischen und kollaborativen Zusammenarbeit aller Akteure.

⁸ S. LABRIE ET AL., 2020

⁹ S. MALIK U. SYAMNATH 2024

Die kontinuierliche Umstellung auf softwaredefinierte Fahrzeuge rückt die Fahrzeugsoftware in den Fokus der Automobilentwicklung. Diese Veränderung wird durch die Trennung von Hardware und Software sowie das enorme wirtschaftliche Potenzial digitaler Inhalte vorangetrieben. Künftig wird die Fahrzeugsoftware eine zentrale Bedeutung für Unternehmen der Automobilbranche haben. Die Herausforderungen, denen sich Entwickler in diesem Bereich stellen müssen, übertreffen dabei deutlich die Anforderungen in anderen Bereichen wie der Smartphone-Nutzung. Obwohl einige dieser Herausforderungen bereits vor der Entwicklung softwaredefinierter Fahrzeuge existierten, werden sie durch die zunehmende Bedeutung der Fahrzeugsoftware weiter verstärkt.

Fahrzeugsoftware und Sicherheit: Strategien gegen Cyber-Bedrohungen



Herausforderungen

Die Nutzungsdauer und somit auch der Lebenszyklus von Fahrzeugen verlängern sich kontinuierlich, was zu einer Erhöhung der Anzahl der Nutzer*innen pro Fahrzeug führt. Neben den Endnutzer*innen, die primär an einem erstklassigen Fahrerlebnis interessiert sind, sind auch zahlreiche Dienstleister über den erweiterten Lebenszyklus hinweg in die Instandhaltung involviert. Diese unterschiedlichen Anspruchsgruppen unterscheiden sich erheblich in ihren Hintergründen, Kenntnissen und Erwartungen. Während einige hohe Leistungsstandards verlangen, konzentrieren sich andere auf die Wartung des Fahrzeugs. Ein Mechaniker beispielsweise überprüft die Systeme und erstellt Diagnoseberichte, während ein*e Fahrer*in das optimale Fahrverhalten erwartet. Daher muss die Fahrzeugsoftware so entwickelt, bereitgestellt und regelmäßig aktualisiert werden, dass sie den Bedürfnissen eines breiten Spektrums gerecht wird.

Moderne Fahrzeuge sind zudem mit einer Vielzahl an Hardwarekomponenten wie Sensoren und Aktuatoren ausgestattet. Diese Diversität in der Hardware erhöht die Komplexität im Vergleich zu traditionellen Systemen erheblich und erfordert kontinuierliche Weiterentwicklung und Anpassung an neue technologische Innovationen. Die Interoperabilität dieser Komponenten ist entscheidend für das reibungslose Funktionieren des gesamten Fahrzeugsystems. Jede Hardwarekomponente hat spezifische Anforderungen und Kommunikationsprotokolle, die nahtlos in die Gesamtsoftware integriert werden müssen, was die Herausforderungen bei der Entwicklung und Wartung der Software weiter erhöht¹.

Softwarestörungen in Fahrzeugen haben zudem potenziell lebensbedrohliche Konsequenzen, was sie wesentlich von herkömmlicher Software unterscheidet. Die Fahrzeugsoftware muss jederzeit die Sicherheit der Insassen sowie anderer Verkehrsteilnehmer gewährleisten. Dazu gehören essenzielle Funktionen wie die Überwachung der Bremsen, die Steuerung der Lenkung und die Verwaltung der Airbags. Fehlerhafte Software in diesen Bereichen könnte zu schweren Unfällen und Verletzungen führen, weshalb höchste Sicherheitsstandards und rigorose Tests unerlässlich sind².

Zudem müssen Fahrzeugsoftwaresysteme in der Lage sein, eine Vielzahl von Kommunikationsprotokollen zu unterstützen und sich an unterschiedliche Domänen anzupassen. Verschiedene Kommunikationstechnologien ermöglichen die Interaktion mit der Umgebung, was die Grundlage für Funktionen wie Vehicle-to-Vehicle(V2V)-, Vehicle-to-Infrastructure(V2I)-, User-to-Vehicle(U2V)- und Intra-Vehicle(Intra V)-Kommunikation bildet. Die Vielfalt der Netzwerkprotokolle erhöht die Komplexität des Gesamtsystems erheblich. Jedes Protokoll hat spezifische Anforderungen und Sicherheitsmaßnahmen, die in die Software integriert werden müssen, um eine sichere und zuverlässige Kommunikation zu gewährleisten.

Fragestellung

Wie können Entwickler und Hersteller von Fahrzeugsoftware die Komplexität und die Sicherheitsanforderungen so bewältigen, dass die Systeme sicher, zuverlässig und zukunftsfähig bleiben?

Lösungen

Die technische Komplexität moderner Fahrzeuge ist eine Hauptherausforderung in der Automobilindustrie. Fahrzeuge stellen eines der komplexesten Massenprodukte dar, wobei die Innovation stetig zunimmt und gerade im Kontext von autonomem Fahren weiter ansteigt³. Diese Komplexität entsteht einerseits durch die ständig wachsende Vielfalt an Funktionen und Systemen sowie andererseits durch die unterschiedlichen Entwicklungszyklen der Softwaresysteme und Hardwarekomponenten⁴. Die Herausforderung besteht darin, mithilfe zentralisierter Designs und ausgeklügelter Schnittstellen diese Komplexität zu vereinfachen. Ein Schlüsselprozess hierfür sind Softwaretests und Simulationen, die mit fortschreitender Softwareentwicklung immer weiter an Bedeutung gewinnen. Diese Tests und Simulationen müssen realitätsnahe Szenarien abbilden, um mögliche Schwachstellen frühzeitig zu erkennen und zu beheben.

Eine wichtige Methode zur Beherrschung der Komplexität ist die Modularisierung der Softwarearchitektur. Durch die Aufteilung der Software in kleinere, unabhängige Module kann die Entwicklung und Wartung effizienter gestaltet werden. Diese Module können unabhängig voneinander entwickelt, getestet und aktualisiert werden, was die Flexibilität und Reaktionsfähigkeit im Hinblick auf neue Anforderungen und Technologien erhöht. Zudem erleichtert die Modularisierung die Integration neuer Funktionen und Komponenten, da Änderungen lokalisiert und schneller implementiert werden können (SAE international).

Keinerlei Kompromisse dürfen im Bezug auf Sicherheit in einem Fahrzeug zugelassen werden, das gilt für alle eingebundenen Systeme. Dies wird durch eine klare Trennung zwischen privilegierten und nichtprivilegierten

¹ S. KIRCHNER ET AL. 2025, S. 3 f.

² S. BROU ET AL. 2007, S. 369 f.

³ S. MCKINSEY 2013, S. 9

⁴ S. DELOITTE 2017, S. 6

ten Operationen in der Software geregelt. Historisch hohe sicherheitstechnische Anforderungen wie die ISO 26262 müssen erfüllt werden. Diese Norm gibt eine Vielzahl von Regeln vor und legt dar, wie potenzielle Gefahren bewertet und bewältigt werden sollten. Risiken werden klar identifiziert und kategorisiert, wobei drei Faktoren maßgeblich sind: potenzieller Schaden (Schweregrad), Wahrscheinlichkeit (Exposition) und das Nutzerverhalten (Beherrschbarkeit).

Anhand dieser Kategorisierung können Risiken verschiedenen ASIL-Stufen zugeordnet werden, wobei ASIL für „Automotive Safety Integrity Levels“ steht. Für jede dieser Stufen sind klare Anforderungen und Sicherheitsmaßnahmen definiert⁵.

Diese Maßnahmen umfassen redundante Systeme, Fehlererkennung und -behebung sowie regelmäßige Überprüfungen und Aktualisierungen der Software.

Neben der ISO 26262 gibt es weitere Standards und Vorschriften, die die Sicherheit in der Fahrzeugsoftwareentwicklung gewährleisten sollen. Ein Beispiel ist die UNECE WP.29, die Regelungen zur Cybersicherheit und Software-Updates für Fahrzeuge umfasst. Diese Regelungen sollen sicherstellen, dass Fahrzeuge gegen Cyberangriffe geschützt sind und dass Software-Updates sicher und zuverlässig durchgeführt werden können⁶.

Mit dem Fortschreiten der Digitalisierung wächst auch die potenzielle Angriffsfläche von Fahrzeugen im digitalen Raum. Es wurden bereits erfolgreich Sicherheitsangriffe auf Fahrzeugsoftware durchgeführt.

Schwachstellen in der Datensicherheit müssen daher frühzeitig im Entwicklungszyklus erkannt und kontinuierlich während des gesamten Lebenszyklus gesichert werden. Der Datenschutz muss in jeder Phase des Lebenszyklus berücksichtigt werden, um ernsthafte Gefahren für Menschenleben zu vermeiden. Hierbei sind die Implementierung von Verschlüsselungstechno-

logien, die Anwendung sicherer Kommunikationsprotokolle und die regelmäßige Überprüfung der Sicherheitsmaßnahmen von zentraler Bedeutung. Aus einem Bericht des *Center of Automotive Management (CAM)* geht hervor, dass eine professionelle Cybersecurity-Strategie entscheidend für die Resilienz gegen zunehmende Cyberangriffe ist. Die Implementierung solcher Strategien erfordert einen ganzheitlichen Ansatz, der den gesamten Lebenszyklus eines Fahrzeugs abdeckt, einschließlich Entwicklung, Produktion und Nutzung⁷.

Ein weiteres wichtiges Element der Datensicherheit ist das sogenannte „Security by Design“-Prinzip. Dabei wird Sicherheit von Anfang an in den Entwicklungsprozess integriert, anstatt sie nachträglich zu berücksichtigen. Dies umfasst die Identifikation und Bewertung potenzieller Bedrohungen sowie die Implementierung von Sicherheitsmaßnahmen in jeder Phase des Entwicklungsprozesses. Zudem sollten regelmäßige Sicherheitsüberprüfungen und Penetrationstests durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass die Systeme gegen aktuelle Bedrohungen geschützt sind⁸.

Moderne Fahrzeugsoftware muss daher mit langfristiger Perspektive geplant und gewartet werden, denn jede Aktualisierung oder Korrektur muss ohne Gefahren durchgeführt werden können. Mögliche Probleme müssen durch eine schnelle Wiederherstellung des Ursprungszustands behoben werden können. Hardware-Redundanz spielt eine wesentliche Rolle, um einen sicheren Betrieb auch nach unzureichender Wartung sicherzustellen. Dies bedeutet, dass kritische Systeme doppelt vorhanden sein müssen, sodass bei einem Ausfall eines Systems das andere die Funktion übernehmen kann. Zudem müssen Wartungsprozesse klar definiert und regelmäßig durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass alle Systeme stets auf dem neuesten Stand sind und einwandfrei funktionieren.

Zusammenfassung

Die fortschreitende Entwicklung hin zu softwaredefinierten Fahrzeugen bringt sowohl immense Chancen als auch erhebliche Herausforderungen mit sich. Um den hohen Anforderungen gerecht zu werden, müssen Entwickler und Hersteller von Fahrzeugsoftware auf modularisierte Architekturen und zentrale Designs setzen. Die Einhaltung strenger Sicherheitsstandards wie der ISO 26262 und der UNECE WP.29 sind unabdingbar, um die Sicherheit der Fahrzeuginsassen zu gewährleisten. Gleichzeitig müssen innovative Ansätze wie „Security by Design“ und fortschrittliche Verschlüsselungstechnologien implementiert werden, um Cyber-Bedrohungen effektiv zu begegnen. Durch den Einsatz robuster OTA-Update-Systeme kann die Software zudem kontinuierlich aktualisiert und gesichert werden. Nur durch eine ganzheitliche Betrachtung und die konsequente Umsetzung dieser Strategien kann die Fahrzeugsoftware der Zukunft sicher, zuverlässig und zukunftsfähig gestaltet werden.

⁵ S. SLAMA ET AL. 2023, S. 8 f.

⁶ S. UNECE 2024

⁷ S. BRATZEL 2023, S. 3 ff.

⁸ S. MENZ 2016

Entwicklungsansätze: Agile Methoden und Continuous-Integration- Deployment

Die herkömmliche Softwareentwicklung stößt in der Automobilbranche auf beträchtliche Hindernisse. Neue Kund*innenbedürfnisse und Fortschritte bei autonomen Fahrsystemen stellen die bisherigen Entwicklungsansätze vor große Herausforderungen. Diese traditionellen Methoden erweisen sich als zunehmend ineffizient und ungeeignet. Da Fahrzeugsoftware besonders hohe Sicherheitsanforderungen hat, können Lösungen aus anderen Branchen nicht einfach übernommen werden¹. Trotz der zunehmenden Komplexität in der Softwareentwicklung greifen manche Entwickler jedoch weiterhin auf veraltete Methoden zurück².

Herausforderungen

Das traditionell verwendete V-Modell, eine domänenspezifische Variante der internationalen ISO-15504-Norm, wird weltweit sowohl von Erstausrüstern als auch von Zulieferern angewandt³. Dieses Modell, das den traditionellen Ansatz repräsentiert, verdeutlicht, dass die Softwareentwicklung lediglich einen Teil des gesamten Prozesses darstellt. Viele weitere Elemente müssen berücksichtigt und erfüllt werden, was den gesamten Ablauf langwierig gestaltet und typischerweise eine Entwicklungszeit von über drei Jahren erfordert⁴.

Das V-Modell zeichnet sich zudem durch eine hierarchische Aufteilung der Anforderungen aus, wobei jede Stufe strengen Vorschriften unterliegt. Dies resultiert in starren Lieferterminen und eingeschränkten Anpassungsmöglichkeiten, die eine rasche Entwicklung hemmen. In der heutigen Zeit ist jedoch die Time-to-Market, also die Dauer von der Konzeptualisierung bis zur Markteinführung, ein entscheidender Erfolgsfaktor⁵. Moderne Softwarelösungen entwickeln sich rasant, erfahren schnelle Aktualisierungen und werden zunehmend komplexer. Diese dynamische Entwicklung ist schwer vorhersehbar, und häufig gibt

es keine eindeutigen Lösungen, wodurch das traditionelle V-Modell an seine Grenzen stößt.

Marktteilnehmer stehen vor der Herausforderung, das V-Modell, das insbesondere in Bezug auf Sicherheit nach wie vor notwendig ist, sowie die darin verankerten Entwicklungsstrategien so zu adaptieren, dass sie mit den rasanten Veränderungen in der Softwareentwicklung Schritt halten können⁶. Das Hauptziel besteht darin, die digitale Erfahrungswelt mit der physischen zu integrieren. Früher lag der Fokus hauptsächlich auf physischen Funktionen. Das neue Fahrerlebnis hingegen wird durch softwaregestützte Funktionen vorangetrieben. Diese digitale Erlebniswelt beruht auf bewährten Verfahren aus der Technologiebranche, die harmonisch mit traditionellen Ansätzen vereint werden sollen.

¹ S. MOUKAHAL ET AL., 2020, S. 10142 f.

² S. SLAMA ET AL. 2023, S. 1 f.

³ S. HIRZ 2018, S. 4 f.

⁴ S. GLASER ET AL. 2020, S. 8 f.

⁵ S. LIU ET AL. 2022, S. 185 f.

⁶ S. GLASER ET AL. 2020, S. 8 f.

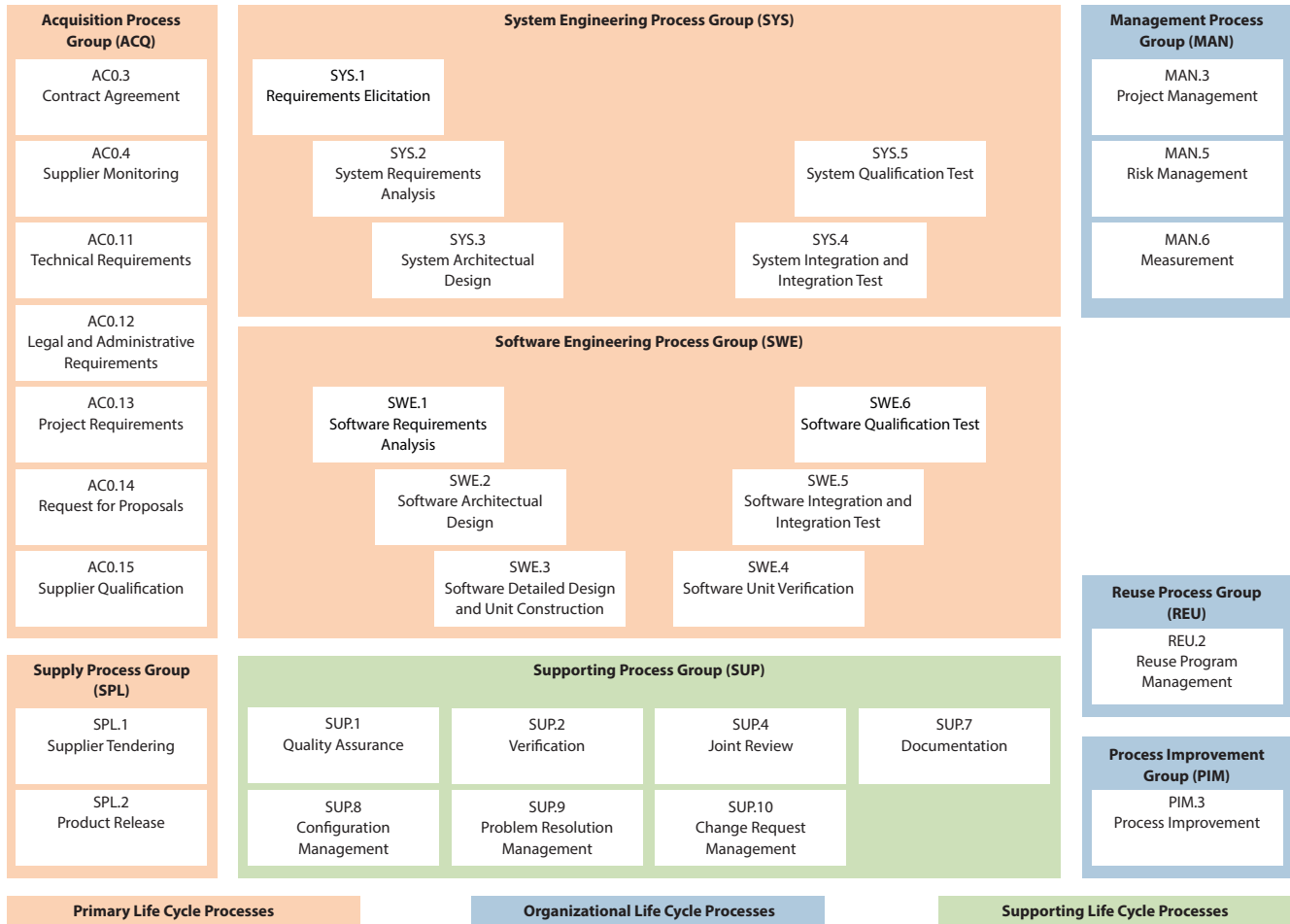


Bild 8: Vereinfachte Illustration des Automotive-SPICE-Modells (Hirz 2018, S. 4, zit. n. Glaser et al. 2020, S. 9)

Die Abbildung zeigt eine Übersicht der primären und unterstützenden Lebenszyklusprozesse in einem Softwareentwicklungsprojekt. Sie ist in verschiedene Prozessgruppen unterteilt: den Akquisitionsprozess (ACQ), Systemengineering (SYS), Softwareengineering (SWE), Lieferprozess (SPL), Unterstützende Prozesse (SUP), Wiederverwendungsprozess (REU), Prozessverbesserung (PIM) und Managementprozesse (MAN). Jede Prozessgruppe enthält spezifische Aktivitäten, die notwendig sind, um die Qualität und Effizienz im Lebenszyklus des Projekts sicherzustellen.

Fragestellung

Welche Methoden und Technologien können genutzt werden, um die Time-to-Market zu verkürzen und gleichzeitig die hohen Sicherheitsanforderungen in der Fahrzeugsoftware zu erfüllen?

Lösungen

Agile Methoden bieten eine flexible und iterative Entwicklung, die sich schnell an veränderte Anforderungen anpassen kann. Das agile Manifest, das 2001 formuliert wurde, betont die Bedeutung von Individuen und Interaktionen, funktionierender Software, der Zusammenarbeit mit dem Kunden und des Reagierens auf Veränderung. Diese Prinzipien stehen im Gegensatz zu den starren Prozessen und Dokumentationen des klassischen V-Modells⁷.

Durch die iterative Entwicklung in kurzen Sprints können Teams schnell auf Feedback reagieren und Anpassungen vornehmen. Dies führt zu einer schnelleren Entwicklung und einer höheren Qualität der Software. Regelmäßige Reviews und Retrospektiven ermöglichen eine kontinuierliche Verbesserung des Entwicklungsprozesses. Ein weiteres wichtiges Prinzip der agilen Methoden ist die enge Zusammenarbeit im Team und mit dem Kunden. Dies fördert ein gemeinsames Verständnis der Anforderungen und Ziele, was die Wahrscheinlichkeit von Fehlentwicklungen reduziert⁸.

Ein Beispiel für eine agile Methode ist Scrum. In Scrum wird die Arbeit in Sprints unterteilt, die

⁷ S. Moukhalil et al. 2020, S. 10142 f.

⁸ S. Slama et al. 2023, S. 1 f.

⁹ S. Schwaber u. Sutherland 2020

typischerweise zwei bis vier Wochen dauern. Am Ende jedes Sprints steht ein potenziell auslieferbares Produktinkrement. Durch regelmäßige Sprint-Reviews und Retrospektiven können Teams ihre Arbeitsweise kontinuierlich verbessern und schnell auf Veränderungen reagieren⁹.

Des Weiteren sind Continuous Integration (CI) und Continuous Deployment (CD) eng mit den agilen Methoden verbunden und unterstützen diese durch die Automatisierung von Tests und Bereitstellungen. CI/CD ermöglicht eine kontinuierliche Integration und Bereitstellung von Softwareänderungen, was zu einer schnelleren und zuverlässigeren Auslieferung von Software führt¹⁰. CI bedeutet, dass Entwickler ihre Änderungen regelmäßig in ein gemeinsames Repository integrieren. Jede Integration wird automatisch durch einen Build-Prozess und Tests überprüft. Dies stellt sicher, dass Fehler frühzeitig erkannt und behoben werden können. CD geht noch einen Schritt weiter und automatisiert die Bereitstellung der Software in verschiedenen Umgebungen, bis hin zur Produktion. Dies ermöglicht eine schnelle und zuverlässige Auslieferung von Softwareänderungen¹¹.

Die Einführung von CI/CD erfordert jedoch nicht nur die Implementierung geeigneter Werkzeuge, sondern auch eine Veränderung der Unternehmenskultur. Es erfordert ein hohes Maß an Zusammenarbeit und Vertrauen innerhalb des Teams sowie eine Kultur des kontinuierlichen Lernens und der Verbesserung.

Ein weiterer Ansatz, der die Einführung von agilen Methoden und CI/CD unterstützt, ist DevOps. DevOps ist eine Kultur und Praxis, die Entwicklung (Development) und Betrieb (Operations) zusammenbringt, um die Zusammenarbeit zu verbessern und die Auslieferung von Software zu beschleunigen. DevOps fördert die Automatisierung und Überwachung aller Schritte der Softwareentwicklung, vom Code-Schreiben über das Testen bis hin zur Bereitstellung und Überwachung im Betrieb¹².

Durch die enge Zusammenarbeit von Entwickler*innen und Betriebsteams können Probleme schneller erkannt und behoben werden. Dies führt zu einer höheren Stabilität und Qualität der Software. Zudem ermöglicht DevOps eine schnellere Reaktion auf Kundenanforderungen und Marktveränderungen, da Änderungen schneller und zuverlässiger implementiert werden können¹³.

Ein praktisches Beispiel für die erfolgreiche Umsetzung von agilen Methoden und CI/CD in der Automobilindustrie ist die Zusammenarbeit von BMW und Pivotal. BMW hat agile Methoden und eine cloudnative Plattform eingeführt, um die Entwicklung von Fahrzeugsoftware zu beschleunigen und die Time-to-Market zu verkürzen. Durch die Einführung von CI/CD konnte BMW die Zeit für die Bereitstellung neuer Softwareversionen erheblich verkürzen und die Qualität der Software verbessern¹⁴.

Ein weiteres Beispiel ist Tesla, das von Anfang an auf agile Methoden und CI/CD gesetzt hat. Tesla nutzt eine eigene, inhouse entwickelte Plattform für die Softwareentwicklung und -bereitstellung, die eine kontinuierliche Integration und Bereitstellung ermöglicht. Dies hat es Tesla ermöglicht, regelmäßig Over-the-Air(OTA)-Updates für seine Fahrzeuge bereitzustellen und schnell auf Kundenfeedback und Marktveränderungen zu reagieren¹⁵.

Die Einführung von agilen Methoden und CI/CD erfordert jedoch nicht nur technische Veränderungen, sondern auch eine Veränderung der

Unternehmenskultur. Unternehmen müssen eine Kultur des kontinuierlichen Lernens und der Verbesserung fördern und sicherstellen, dass alle Mitarbeitenden die Prinzipien und Praktiken der agilen Methoden und CI/CD verstehen und unterstützen¹⁶.

Schlussfolgerung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass agile Methoden und Continuous Integration/Deployment vielversprechende Ansätze sind, um den Herausforderungen der modernen Softwareentwicklung in der Automobilindustrie zu begegnen. Sie ermöglichen eine flexible und effiziente Entwicklung, die den hohen Sicherheitsanforderungen gerecht wird und gleichzeitig die Time-to-Market verkürzt. Die erfolgreiche Umsetzung erfordert jedoch nicht nur die Einführung geeigneter Werkzeuge und Technologien, sondern auch eine Veränderung der Unternehmenskultur und eine enge Zusammenarbeit im Team und mit dem Kunden.

Die Automobilindustrie muss schon heute traditionelle Entwicklungsansätze mit modernen Methoden kombinieren, um den Anforderungen der digitalen Transformation gerecht zu werden. Agile Methoden und CI/CD bieten hierfür geeignete Ansätze, die eine schnelle und zuverlässige Entwicklung und Bereitstellung von Fahrzeugsoftware ermöglichen. Unternehmen, die diese Methoden erfolgreich umsetzen, können ihre Wettbewerbsfähigkeit steigern und den Anforderungen des Marktes besser gerecht werden.

¹⁰ S. GLASER ET AL., 2020, S. 8 f.

¹¹ S. LIU ET AL., 2022, S. 185 f.

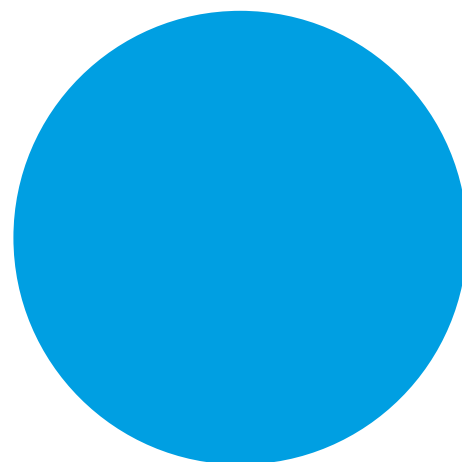
¹² S. HIRZ 2018, S. 4 f.

¹³ S. SLAMA ET AL., 2023, S. 11 f.

¹⁴ S. GLASER ET AL., 2020, S. 8 f.

¹⁵ S. LIU ET AL., 2022, S. 185 f.

¹⁶ S. MOUKAHAL ET AL., 2020, S. 10142 f.



Moderne Strukturen der Organisation: Anpassung an die digitale Transformation



Was bedeutet der Transformationsprozess der Automobilbranche für die jeweiligen Organisationsstrukturen? Während der letzten drei Jahrzehnte haben sich etablierte Marktteilnehmer weitgehend auf die Entwicklung einzelner Komponenten aus unterschiedlichen Domänen konzentriert und ihre Organisationen dementsprechend strukturiert. Diese herkömmlichen Strukturen geraten jedoch immer mehr an ihre Grenzen, da sie die Vielschichtigkeit moderner und interdisziplinärer Softwarefunktionen nicht mehr meistern können. Dies resultiert in steigenden Kosten, Qualitätsproblemen und der Gefahr, mit der Konkurrenz nicht mithalten zu können¹. Vor diesem Hintergrund sind die Marktteilnehmer gezwungen, ihre Organisationsstrukturen an die Anforderungen der digitalen Transformation anzupassen.

¹ s. KRONEN, 2022, S. 58f.

Herausforderungen

Die Hauptprobleme der bestehenden Organisationsstrukturen in der Automobilindustrie sind vielfältig. Einerseits führt die traditionelle Konzentration auf einzelne Komponenten und Domänen zu einer mangelnden Flexibilität und Agilität in der Entwicklung und Bereitstellung neuer Fahrzeugfunktionen. Andererseits stehen Unternehmen vor der Herausforderung, die organisationalen Rahmenbedingungen für traditionelle Hardwareentwicklung und moderne Softwareentwicklung zu integrieren. Dies erfordert die Schaffung neuer Organisationseinheiten, die in der Lage sind, unterschiedliche Kulturen und Methodiken zu vereinen und die verschiedenen Geschwindigkeiten der Entwicklung und Bereitstellung zu berücksichtigen².

Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist die Notwendigkeit eines grundlegenden Umdenkens in Bezug auf das Talentteam und die Organisationskultur. Die traditionelle, vertikal organisierte Kommunikationsstruktur der Automobilbranche steht im Gegensatz zur agilen Arbeitsweise, die in der Softwarebranche als wesentlich für schnelle Anpassungsfähigkeit gilt³.

Fragestellung

Wie können etablierte Automobilhersteller ihre Organisationsstrukturen an die Anforderungen der digitalen Transformation anpassen, um sowohl physische als auch digitale Fahrzeugfunktionen schnell und kostengünstig zu entwickeln und bereitzustellen?

Lösungen

Die Anpassung der Organisationsstrukturen erfordert eine Kombination verschiedener Ansätze und Maßnahmen:

Einerseits müssen neue Einheiten geschaffen werden, die in der Lage sind, sich in unterschiedlichen Kulturen und Methodiken zu bewegen und die verschiedenen Geschwindigkeiten der Entwicklung und Bereitstellung zu berücksichtigen. Dies ermöglicht eine effizientere Integration von Hardware- und Softwareentwicklung⁴. Diese neuen Einheiten müssen über die nötige Autonomie verfügen, um schnell auf Veränderungen reagieren zu können, während sie gleichzeitig eng mit den übrigen Abteilungen und Stakeholdern vernetzt bleiben. Ein Ansatz könnte die Etablierung von „Digital Innovation

Hubs“ sein, die als Brücke zwischen den traditionellen und den neuen digitalen Strukturen fungieren.

Andererseits ist die Einführung agiler Arbeitsweisen entscheidend für die Anpassungsfähigkeit und Effizienz in der Softwareentwicklung. Ansätze wie LeSS (*Large-Scale Scrum*) oder SAFe (*Scaled Agile Framework*) können dabei helfen, agile Konzepte in großen Projekten umzusetzen. Die unternehmensweite Implementierung solcher Konzepte erfordert jedoch Entschlossenheit und Beharrlichkeit, da sie an das sicherheitskritische Umfeld angepasst werden müssen⁵. Dies beinhaltet die Schulung von Mitarbeitenden in agilen Methoden, die Anpassung von Prozessen und Strukturen sowie die Förderung einer Kultur der kontinuierlichen Verbesserung und des offenen Feedbacks.

Zudem ermöglicht die Nutzung neuester Methoden und Technologien den Unternehmen, schneller auf Marktveränderungen zu reagieren und innovative Lösungen zu entwickeln. Dies ist besonders wichtig für neue Marktteilnehmer, die ihre Organisation von Grund auf neu denken und auf moderne Anforderungen und Ziele ausrichten können. Die Implementierung von DevOps-Praktiken, die Automatisierung von Entwicklungs- und Bereitstellungsprozessen sowie der Einsatz von Künstlicher Intelligenz und Machine Learning zur Verbesserung von Produktentwicklung und -qualität sind einige der Möglichkeiten, die es zu erkunden gilt⁶.

Zudem sind die Förderung von Talenten und die kontinuierliche Weiterbildung der Mitarbeitenden entscheidend, um die notwendigen Fähigkeiten und Kompetenzen für die digitale Transformation aufzubauen. Dies erfordert ein Umdenken in Bezug auf traditionelle Talentmanagement-Strategien und die Schaffung einer lernenden Organisation. Unternehmen müssen in die Weiterbildung ihrer Mitarbeitenden investieren und Karrierewege schaffen, die sowohl technologische als auch persönliche Entwicklung fördern. Partnerschaften mit Hochschulen und Technologieunternehmen können dabei helfen, die notwendigen Ressourcen und Expertise zu sichern⁷.

² S. SLAMA ET AL. 2023, S. 11 f.

³ S. LIU ET AL. 2022, S. 185 f.

⁴ S. SLAMA ET AL. 2023, S. 11 f.

⁵ S. SCHLEICHER 2021, S. 279 f.

⁶ S. GARTNER 2020

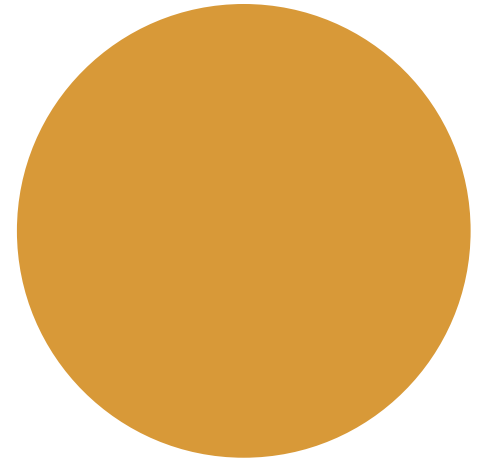
⁷ S. MCKINSEY 2017, S. 5

Ein zentraler Aspekt der digitalen Transformation ist zusätzlich die Verbesserung der horizontalen Kommunikation innerhalb der Organisation. Dies bedeutet, dass Informationen und Ideen frei zwischen verschiedenen Abteilungen und Ebenen ausgetauscht werden müssen. Tools für die Zusammenarbeit, wie Slack, Microsoft Teams oder Trello, können dazu beitragen, die Kommunikation zu erleichtern und die Zusammenarbeit zu fördern. Regelmäßige Meetings, Workshops und Retrospektiven sind ebenfalls wichtig, um sicherzustellen, dass alle Teammitglieder auf dem gleichen Stand sind und gemeinsam an den Zielen arbeiten.

Darüber hinaus erfordert die digitale Transformation eine stärkere Fokussierung der Bedürfnisse und Erwartungen der Kund*innen. Unternehmen müssen Mechanismen entwickeln, um kontinuierlich Kundenfeedback zu sammeln und dieses in die Produktentwicklung einfließen zu lassen. User-Experience(UX)- und Customer-Journey-Mapping sind dabei wichtige Werkzeuge, um die Kundenbedürfnisse besser zu verstehen und die Produkte und Dienstleistungen entsprechend anzupassen. Durch regelmäßige Iterationen und das Einholen von Feedback können Unternehmen sicherstellen, dass sie Produkte entwickeln, die den Marktanforderungen entsprechen und die Kundenzufriedenheit erhöhen.

Zudem ist es in der sich schnell verändernden digitalen Landschaft für Unternehmen oft vorteilhaft, strategische Partnerschaften und Allianzen einzugehen. Durch die Zusammenarbeit mit Technologieunternehmen, Start-ups und anderen Innovationsführern können traditionelle Automobilhersteller von deren Expertise profitieren und gemeinsam neue Lösungen entwickeln. Diese Partnerschaften können auch den Zugang zu neuen Märkten und Technologien erleichtern und die Innovationsfähigkeit des Unternehmens stärken.

Ein Blick auf erfolgreiche Praxisbeispiele kann wertvolle Einblicke in die Umsetzung der genannten Ansätze bieten. Unternehmen wie *Tesla* und *Waymo* sind führend in der Integration moderner Organisationsstrukturen und digitaler Technologien. *Tesla* beispielsweise hat von Anfang an eine vertikal integrierte Struktur verfolgt, die es dem Unternehmen ermöglicht, schnell auf Marktveränderungen zu reagieren und innovative Technologien zu entwickeln⁸. *Waymo*, als Tochterunternehmen von *Alphabet*, nutzt die umfangreichen Ressourcen und das technologische Know-how der Muttergesellschaft, um fortschrittliche autonome Fahrsysteme zu entwickeln⁹.



Fazit

Die Anpassung an die digitale Transformation stellt etablierte Automobilhersteller vor große Herausforderungen. Die traditionellen Organisationsstrukturen müssen aufgebrochen und durch flexible, agile und innovative Ansätze ersetzt werden. Neue Marktteilnehmer haben hierbei einen Vorteil, da sie ihre Organisationen von Anfang an auf die Anforderungen und Ziele moderner Fahrzeuge ausrichten können. Für etablierte Unternehmen bedeutet dies jedoch einen umfassenden Strukturwandel, der Entschlossenheit, Beharrlichkeit und eine klare Vision erfordert.

Der Weg zur digitalen Transformation ist komplex und erfordert eine ganzheitliche Herangehensweise, die sowohl technologische als auch kulturelle Aspekte berücksichtigt. Durch die Schaffung flexibler Organisationseinheiten, die Förderung einer agilen Unternehmenskultur, die Integration moderner Methoden und Technologien, die kontinuierliche Weiterbildung der Mitarbeitenden, die Verbesserung der horizontalen Kommunikation, die stärkere Fokussierung der Kundenbedürfnisse sowie den Aufbau strategischer Partnerschaften können Unternehmen die Herausforderungen der digitalen Transformation erfolgreich meistern.

Die Automobilbranche hat das Potenzial, durch diese Maßnahmen nicht nur den Anschluss an die digitale Zukunft zu schaffen, sondern auch eine führende Rolle in der Entwicklung innovativer und nachhaltiger Mobilitätslösungen einzunehmen. Es liegt an den etablierten Unternehmen, diesen Wandel entschlossen anzugehen und die Chancen der digitalen Transformation zu nutzen.

⁸ S. KLENDER 2022

⁹ S. HAWKINS 2019

Synergien in der Branche: Erfolgreiche Zusammenarbeit der Marktteilnehmer

Softwaredefinierte Fahrzeuge markieren einen Paradigmenwechsel, der die traditionellen Geschäftsmodelle und Entwicklungsprozesse der Automobilbranche grundlegend verändert. In diesem Kontext stehen die Erstausrüster (OEM) und Zulieferer vor neuen Herausforderungen und Fragestellungen, die die Art und Weise ihrer Zusammenarbeit neu definieren.

Herausforderungen

Mit der Einführung von softwaredefinierten Fahrzeugen wird klar, dass OEM nicht die gesamte Entwicklung allein stemmen können. Eine enge Zusammenarbeit mit Zulieferern bleibt unverzichtbar, doch wie diese Kooperation gestaltet wird, ist noch offen und wird sich von Fall zu Fall unterscheiden. Ein zentraler Aspekt in der zukünftigen Fahrzeugentwicklung ist die Automatisierung von Schnittstellen. Die Trennung von Hardware und Software könnte jedoch aus marktstrategischer Sicht dazu führen, dass Zulieferer das Recht zur Softwareentwicklung verlieren. Dies könnte zur Folge haben, dass sie auf die Rolle reiner Hardwarelieferanten reduziert werden. Eine solche Reduzierung hätte gravierende Auswirkungen: Zulieferer könnten Marktanteile und Einfluss verlieren und die digitale Transformation der Branche insgesamt verlangsamen. Dadurch wären sie nicht mehr in der Lage, aktiv an der Funktionsabstraktion mitzuwirken, was Innovationen hemmen könnte.¹

Im Bereich der Softwareentwicklung stehen Automobilunternehmen diverse Optionen zur Verfügung, um den Entwicklungsprozess zu gestalten. Dabei ist es von entscheidender Bedeutung, die eigenen Grenzen zu erkennen und sorgfältig abzuwägen, welche Kooperationen am vorteilhaftesten sind. Eine realistische Einschätzung der eigenen Kompetenzen und Einschränkungen ist unerlässlich, um erfolgreiche Partnerschaften zu etablieren und innovative Lösungen zu entwickeln². Es ist wahrscheinlich, dass OEM die Kontrolle über die Nutzung der Daten behalten werden. Dies könnte zu Machtkämpfen zwischen OEM und Zulieferern führen oder im schlimmsten Fall negative Auswirkungen haben. Moderne Anwendungen stützen sich auf Big Data, um sich kontinuierlich weiterzuentwickeln. Wenn OEM keine oder nur unvollständige Daten bereitstellen, wird es für Zulieferer schwierig, am Markt teilzunehmen. Dies bedeutet, dass Zulieferer weiterhin auf die Kooperation der OEM angewiesen sind, um ihre Weiterentwicklungen voranzutreiben³.

Eine weitere Herausforderung besteht in der Cybersicherheit. Mit zunehmender Vernetzung der Fahrzeuge steigt auch das Risiko für Cyberangriffe⁴. OEM und Zulieferer müssen daher gemeinsam Strategien entwickeln, um die Sicherheit der Systeme zu gewährleisten und Vertrauen bei den Endverbrauchern aufzubauen. Zusätzlich zu Cybersicherheit stellt die Gewährleistung der funktionalen Sicherheit eine Herausforderung dar. Funktionale Sicherheit bezieht sich auf die Sicherstellung, dass ein System auch bei Fehlfunktionen sicher operiert. Dies erfordert umfassende Tests und Validierungen, die in einer kooperativen Entwicklungsumgebung durchgeführt werden müssen⁵.

Ein weiteres Problemfeld bilden die Regulierung und Standardisierung: Die Entwicklung und Implementierung neuer Technologien müssen oft den bestehenden gesetzlichen Vorgaben und Sicherheitsstandards entsprechen⁶. Dies kann den Innovationsprozess verlangsamen und erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen OEM, Zulieferern und Regierungsbehörden, um sicherzustellen, dass neue Technologien sowohl sicher als auch konform sind. Die Regulierungsanforderungen variieren jedoch von Land zu Land, was die Entwicklung global einsetzbarer Lösungen zusätzlich erschwert.

Fragestellung

Wie können OEM und Zulieferer in der Ära der softwaredefinierten Fahrzeuge effektive und innovative Kooperationsmodelle entwickeln, die sowohl den Herausforderungen der digitalen Transformation gerecht werden als auch die Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit beider Parteien stärken?

Lösungen

OEM und Zulieferer könnten kooperative Innovationsplattformen entwickeln, auf denen sie gemeinsam an neuen Technologien und Lösungen arbeiten. Solche Plattformen könnten den Austausch von Wissen und Daten fördern und so die Innovationskraft beider Parteien stärken. Ferner könnte die Einführung flexibler Entwicklungsprozesse, die auf agilen Methoden basieren,

¹ S. LIU ET AL. 2022, S. 187 f.

² S. ebda, a. a. O.

³ S. ebda, a. a. O.

⁴ S. BRATZEL 2024, S. 5

⁵ S. LEE 2019

⁶ S. UNECE 2024

die Zusammenarbeit verbessern. Durch kürzere Entwicklungszyklen und häufigere Feedbackschleifen könnten OEM und Zulieferer somit schneller auf Marktveränderungen reagieren und innovative Produkte schneller auf den Markt bringen⁷.

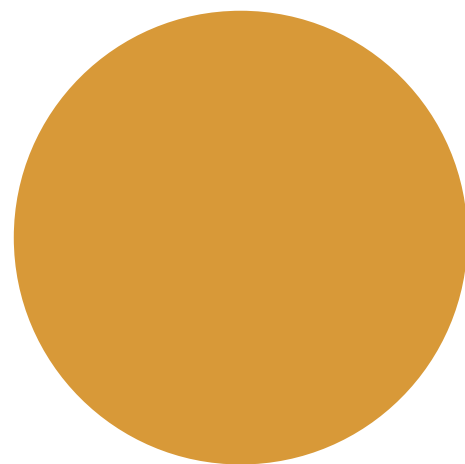
Zudem könnten klare vertragliche Regelungen und Anreize dazu beitragen, die Zusammenarbeit zwischen OEM und Zulieferern zu stärken. Verträge könnten beispielsweise Regelungen zur Datennutzung und -teilung enthalten, die sicherstellen, dass beide Parteien von den gesammelten Daten profitieren⁸.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Bedeutung von offenen Standards und Plattformen. Die Nutzung offener Plattformen kann die Innovationsgeschwindigkeit und Effizienz in der Automobilindustrie erheblich steigern. Durch die Schaffung gemeinsamer Standards können OEM und Zulieferer ihre Zusammenarbeit optimieren und die Entwicklungskosten senken. Dies ist besonders wichtig, da offene Standards die Interoperabilität zwischen verschiedenen Systemen und Komponenten fördern, was wiederum die Integration neuer Technologien erleichtert und die Zeit bis zur Marktreife verkürzt⁹.

Zudem könnten OEM und Zulieferer verstärkt auf Cloud-Technologien setzen. Cloudbasierte Plattformen ermöglichen eine effizientere Zusammenarbeit und erleichtern den Zugang zu großen Datenmengen. Cloud-Technologien können die Entwicklungszyklen verkürzen und die Innovationsfähigkeit erhöhen. Diese Plattformen bieten auch die Möglichkeit, kontinuierliche Software-Updates bereitzustellen, was für die Wartung und Verbesserung der Fahrzeuge von entscheidender Bedeutung ist¹⁰.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Schaffung gemeinsamer Testumgebungen und Simulationsplattformen. Durch die Nutzung solcher Umgebungen können OEM und Zulieferer neue Technologien und Konzepte unter realen Bedingungen testen und optimieren, bevor sie in die Serienproduktion gehen. Dies reduziert nicht nur das Risiko von Fehlfunktionen, sondern beschleunigt auch den Entwicklungsprozess, indem Probleme frühzeitig erkannt und behoben werden können¹¹.

Zusätzlich sollten OEM und Zulieferer verstärkt auf die Schulung und Weiterbildung ihrer Mitarbeitenden setzen. Angesichts der rasanten technologischen Entwicklungen ist es unerlässlich, dass die Belegschaft über die neuesten Kenntnisse und Fähigkeiten verfügt. Gemeinsame



Schulungsprogramme können dazu beitragen, das Wissen und die Fähigkeiten der Mitarbeitenden beider Parteien zu erweitern und so die Innovationskraft zu stärken. Solche Programme könnten Themen wie neue Softwareentwicklungsmethoden, Datenanalyse oder Cybersicherheit abdecken¹².

Fazit

Die Transformation der Automobilindustrie hin zu softwaredefinierten Fahrzeugen stellt OEM und Zulieferer vor erhebliche Herausforderungen und eröffnet gleichzeitig neue Chancen. Die Notwendigkeit zur engen Zusammenarbeit zwischen beiden Parteien ist unvermeidlich, und der Erfolg dieser Kooperation hängt maßgeblich von flexiblen und innovativen Ansätzen ab.

Durch die Entwicklung kooperativer Innovationsplattformen, die Einführung agiler Methoden und die Nutzung offener Standards sowie Cloud-Technologien können OEM und Zulieferer ihre Innovationskraft steigern und die Wettbewerbsfähigkeit erhalten. Zudem sind klare vertragliche Regelungen zur Datennutzung und -teilung sowie gemeinsame Schulungsprogramme essenziell, um die digitale Transformation erfolgreich zu meistern. Letztlich wird die Fähigkeit, Synergien zu schaffen und gemeinsam an der Spitze technologischer Entwicklungen zu stehen, entscheidend dafür sein, wie gut die Branche den Übergang zu einer neuen Ära meistert.

⁷ S. DE BOER ET AL. 2020

⁸ S. GAO ET AL. 2016

⁹ S. TRIPP 2022

¹⁰ S. LÖWER 2023

¹¹ S. BURKACKY ET AL. 2021

¹² S. SME 2023

Innovationen im Fahrzeug: Künstliche Intelligenz zur Verbesserung der Fahrzeugfunktionalität und Nutzererfahrung



Die Integration von Künstlicher Intelligenz (KI) in der Automobilindustrie markiert einen Wendepunkt in der Entwicklung softwarebasierter Fahrzeuge und treibt die Transformation hin zu einer neuen Ära der Mobilität voran. Von der Design- und Entwicklungsphase über die Erprobung und Produktion bis hin zum After-Sales oder Marketing – KI findet während des gesamten Lebenszyklus eines Fahrzeugs Anwendung. Die Daten, die von den zahlreichen Fahrzeug- und Infrastruktursensoren gesendet werden, aus Fertigungs-
linien stammen oder aus Kundenfeedback zusammengestellt werden, sind leistungsstarke Informationsquellen. Ihre Analyse und Interpretation bieten mächtige Hebel für Verbesserungen¹.

¹ s. EXPLEO o. D.

KI als Schlüsselfaktor für softwarebasierte Fahrzeuge

KI hat sich als unverzichtbarer Bestandteil bei der Weiterentwicklung softwarebasierter Fahrzeuge etabliert. Laut einer [IBM-Studie](#) sind 74 Prozent der befragten Führungskräfte der Meinung, dass Fahrzeuge bis 2035 softwaredefiniert und KI-gesteuert sein werden. Diese Prognose unterstreicht die zentrale Rolle, die KI in der Zukunft der Automobilindustrie spielen wird. Der Einsatz von KI ermöglicht es Automobilherstellern, die Komplexität moderner Fahrzeugsysteme zu bewältigen und innovative Funktionen zu implementieren. Durch die Fähigkeit, große Datenmengen in Echtzeit zu verarbeiten und zu analysieren, können KI-Systeme die Leistungsfähigkeit und Effizienz von Fahrzeugen kontinuierlich verbessern². Ein wesentlicher Aspekt ist die Optimierung der Softwareentwicklung selbst. KI-Tools können den Entwicklungsprozess beschleunigen und die Softwarequalität erhöhen. Die Integration von KI in der Automobilbranche ermöglicht es Unternehmen, Prozesse zu optimieren, Kosten zu senken und innovative Lösungen zu entwickeln³.

Autonomes Fahren

Im Bereich des autonomen Fahrens ist KI der Schlüsselfaktor für die Realisierung selbstfahrender Fahrzeuge. KI-Systeme verarbeiten Daten von verschiedenen Sensoren und Kameras, um die Umgebung zu verstehen und sichere Fahrentscheidungen zu treffen. Die Entwicklung autonomer Fahrzeuge verspricht, die Verkehrssicherheit zu erhöhen, Staus zu reduzieren und die Transporteffizienz zu verbessern. Nvidias Einschätzung, dass künftige Fahrzeuge „KI-definiert“ sein werden, unterstreicht die zentrale Bedeutung von KI für die Zukunft des autonomen Fahrens⁴. Die Technologie ermöglicht es Fahrzeugen, komplexe Entscheidungen in Echtzeit zu treffen und sich kontinuierlich an neue Situationen anzupassen.

Personalisierung

Auch bei der Personalisierung des Fahrerlebnisses spielt KI eine entscheidende Rolle. Durch die Analyse von Nutzerdaten können KI-Systeme individuelle Präferenzen erlernen und das Fahrzeug entsprechend anpassen. Dies reicht von der automatischen Einstellung von Sitz und Spiegeln bis hin zur Anpassung des Infotainment-Systems an persönliche Vorlieben. Sprachassistenten und Chatbots, die auf KI basieren, ermöglichen eine natürlichere Interaktion zwischen Fahrer*in und Fahrzeug. Diese Systeme können Befehle in

natürlicher Sprache verstehen und ausführen, was die Bedienung des Fahrzeugs intuitiver und sicherer macht⁵.

Effizienzsteigerung

Auch zur Steigerung der Effizienz trägt Künstliche Intelligenz in verschiedenen Bereichen der Automobilindustrie wesentlich bei: In der Fahrzeugentwicklung ermöglicht generatives Design, unterstützt durch KI, die schnelle Erstellung und Optimierung von Bauteilen. Dies führt zu leichteren, stabileren und kostengünstigeren Komponenten. Im Bereich der Produktion optimieren KI-gesteuerte Systeme die Fertigungsprozesse, reduzieren Ausschuss und verbessern die Qualitätskontrolle.⁶

Autohersteller umgehen in ihren Fabriken ungeplante Produktionsstopps: Ohnehin anfallende Daten der Montageanlagen werden mit Methoden Künstlicher Intelligenz analysiert und nach Auffälligkeiten wie Schwankungen in der Stromaufnahme oder ungewöhnlichen Bewegungen durchsucht. Einzelne Maschinen lassen sich bei kritischer Datenlage rechtzeitig vor einem Defekt aus der Produktion nehmen und reparieren. Fehlerhafte Schweißpunkte können inzwischen ebenfalls über eine Datenanalyse der Schweißroboter aufgespürt werden⁷. Predictive Maintenance, basierend auf KI-Analysen, ermöglicht es, potenzielle Probleme frühzeitig zu erkennen und zu beheben, was Ausfallzeiten minimiert und Kosten senkt⁸.

Die Integration von KI in softwarebasierte Fahrzeuge markiert einen Paradigmenwechsel in der Automobilindustrie. Mit ihrer Fähigkeit, komplexe Daten zu verarbeiten, zu lernen und sich anzupassen, wird KI die Zukunft der Mobilität maßgeblich gestalten – von der Entwicklung über die Produktion bis hin zum Fahrerlebnis selbst.

Herausforderungen

Die Implementierung von Künstlicher Intelligenz in die verschiedenen Anwendungsbereiche der Automobilbranche bringt allerdings zahlreiche

² S. AVEGA 2024

³ S. HEWIG 2025

⁴ S. LOEWER 2024

⁵ S. IT-P 2024

⁶ <https://www.itransition.com/de/computer-vision/fertigung>
(Link zuletzt geprüft: 23.04.2025)

⁷ S. AMS 2024

⁸ <https://www.itransition.com/de/ki/automobilindustrie>
(Link zuletzt geprüft: 23.04.2025)

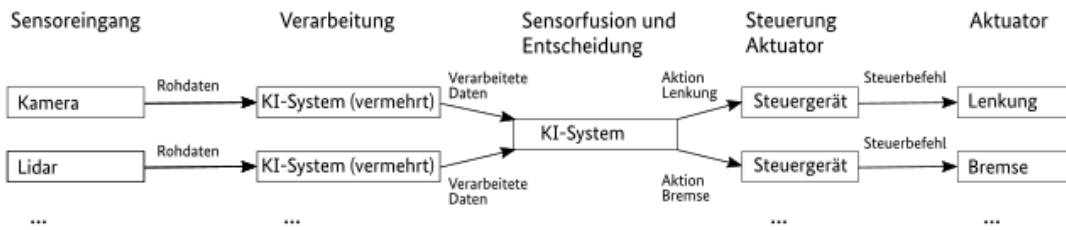


Bild 9: Schematische Darstellung der Verarbeitung von Sensordaten im Rahmen des automatisierten Fahrens. Details hängen von der technischen Umsetzung ab. Prinzipiell können die separaten Schritte der Verarbeitung und Aktuatorsteuerung mit in das zentrale KI-System aufgenommen werden sowie weitere Sensoren und Aktuatoren einbezogen sein. (BSI o. J.)

Herausforderungen mit sich, die Hersteller und Zulieferer bewältigen müssen, um das volle Potenzial dieser Technologie auszuschöpfen.

Eine der größten Hürden ist die Komplexität der Integration in bestehende Fahrzeugarchitekturen. Die heutige Fahrzeugarchitektur ist über Jahrzehnte gewachsen und umfasst oft über 100 Steuergeräte und zahlreiche Bussysteme⁹.

Die Einführung von KI-Systemen erfordert eine grundlegende Neugestaltung dieser Architekturen, um eine nahtlose Integration zu ermöglichen und die volle Leistungsfähigkeit der neuen Technologien zu nutzen. Eine weitere Herausforderung liegt in der Bewältigung der riesigen Datenmengen, die von KI-Systemen in Echtzeit verarbeitet werden müssen. Moderne Fahrzeuge generieren eine Fülle von Daten aus verschiedenen Sensoren und Systemen, die für KI-Anwendungen genutzt werden können¹⁰.

Die Verarbeitung dieser Daten in Echtzeit erfordert leistungsfähige Hardware und effiziente Algorithmen, um schnelle und präzise Entscheidungen zu ermöglichen. Sicherheits- und Datenschutzbedenken spielen ebenfalls eine zentrale Rolle bei der Implementierung von KI in vernetzten Fahrzeugen. Die Verarbeitung personenbezogener Daten unterliegt strengen Datenschutzbestimmungen wie der DSGVO¹¹.

Automobilhersteller müssen sicherstellen, dass KI-Systeme diese Vorschriften einhalten und gleichzeitig die Privatsphäre der Nutzer*innen schützen. Die kontinuierliche Verbesserung von KI-Modellen während des Fahrzeuglebenszyklus stellt eine weitere Herausforderung dar. Die Systeme müssen in der Lage sein, sich an sich verändernde Bedingungen anzupassen und ihre Leistung im Laufe der Zeit zu verbessern. Dies erfordert flexible Architekturen und Methoden

für Over-the-Air-Updates, um die Modelle regelmäßig zu aktualisieren und zu optimieren.

Schließlich besteht die Notwendigkeit, traditionelle Steuergeräte und Hardware mit KI-Systemen zu harmonisieren. Die Integration erfordert eine sorgfältige Abstimmung zwischen klassischen Steuerungsalgorithmen und modernen KI-Ansätzen. Dies kann zu Kompatibilitätsproblemen führen und erfordert neue Entwicklungsansätze, die beide Welten effektiv miteinander verbinden.¹²

Fragestellung

Wie kann die Integration von KI in bestehende Fahrzeugarchitekturen optimiert werden, um Datenmengen in Echtzeit zu verarbeiten, Sicherheits- und Datenschutzbedenken zu adressieren, traditionelle Steuergeräte zu harmonisieren und die kontinuierliche Verbesserung der KI-Modelle sicherzustellen?

Lösungen

Zentralisierung der Fahrzeugarchitektur

Eine der wichtigsten Maßnahmen zur Unterstützung von KI-gesteuerten Entscheidungen ist die Zentralisierung der Fahrzeugarchitektur¹³. Traditionelle Architekturen basieren auf einer Vielzahl von Steuergeräten, die jeweils spezifische Funk-

⁹ S. MELFI ET AL. 2022, S. 6

¹⁰ S. VDA 2023

¹¹ <https://www.kinast.eu/automobilbranche/> (Link zuletzt geprüft: 02.03.2025)

¹² S. BSI o. J.

¹³ S. BMBF 2021; HERLT ET AL. 2024



tionen übernehmen. Diese dezentralisierte Struktur erschwert jedoch die effiziente Verarbeitung großer Datenmengen, die für KI-Anwendungen erforderlich sind. Durch den Übergang zu zentralisierten Architekturen, die auf Hochleistungsrechnern und zonalen Steuergeräten basieren, können Datenflüsse optimiert und Engpässe reduziert werden¹⁴. Eine solche Architektur ermöglicht es, Sensordaten aus verschiedenen Quellen – wie Kameras, Lidar und Radar – effizient zusammenzuführen und in Echtzeit zu analysieren. Dies ist insbesondere für autonome Fahrenwendungen entscheidend, da hier Millisekunden schnelle Entscheidungen getroffen werden müssen¹⁵.

Over-the-Air(OTA)-Updates

Die kontinuierliche Verbesserung von KI-Modellen während des Fahrzeuglebenszyklus ist eine weitere zentrale Herausforderung. Over-the-Air(OTA)-Updates bieten eine flexible Lösung, um KI-Algorithmen regelmäßig zu aktualisieren und neue Funktionen bereitzustellen. Diese Technologie ermöglicht es Automobilherstellern, Softwareprobleme schnell zu beheben, Sicherheitslücken zu schließen und gleichzeitig die Leistung der KI-Systeme zu optimieren – ohne dass physische Eingriffe vor Ort erforderlich sind. OTA-Updates spielen auch eine entscheidende Rolle bei der Anpassung an neue gesetzliche Anforderungen oder Marktbedingungen. Um Sicherheitsrisiken wie Cyberangriffe zu minimieren, müssen diese Updates durch

verschlüsselte Kommunikationsprotokolle und robuste Authentifizierungsmechanismen geschützt werden¹⁶.

Einsatz von KI für Fahrassistenzsysteme und autonomes Fahren

KI ist ein wesentlicher Treiber für die Weiterentwicklung moderner Fahrassistenzsysteme (ADAS) und autonomer Fahrzeuge und eröffnet neue Möglichkeiten für Sicherheit, Effizienz und Komfort im Straßenverkehr¹⁷.

Moderne ADAS und autonome Fahrzeuge nutzen komplexe KI-Algorithmen, insbesondere maschinelles Lernen und tiefe Künstliche Neuronale Netze (KNN), um eine Vielzahl von Sensordaten in Echtzeit zu verarbeiten und zu interpretieren. Diese Systeme können Informationen von Kameras, Lidar, Radar und anderen Sensoren simultan analysieren und daraus ein umfassendes Bild der Fahrzeugumgebung erstellen. Die Sensorfusion, bei der Daten aus verschiedenen Quellen kombiniert werden, ermöglicht eine präzisere Objekterkennung und Situationsanalyse, als es mit einzelnen Sensoren möglich wäre.¹⁸

¹⁴ S. PERTSCHY 2023

¹⁵ S. MAUSER U. WAGNER 2024

¹⁶ S. E&E-EXPLORE 2023

¹⁷ S. JENKINS 2024

¹⁸ S. SADEK U. TOMA O. J.

Ein Kernaspekt dieser KI-gestützten Systeme ist ihre Fähigkeit, komplexe Verkehrssituationen zu verstehen und in Sekundenbruchteilen angemessene Entscheidungen zu treffen. So kann beispielsweise ein autonomes Fahrzeug Fußgänger, andere Fahrzeuge und Verkehrszeichen nicht nur erkennen, sondern auch deren Verhalten vorhersagen und entsprechend reagieren. Diese Fähigkeit zur schnellen und präzisen Entscheidungsfindung trägt wesentlich zur Erhöhung der Verkehrssicherheit bei.¹⁹

Darüber hinaus optimieren KI-Systeme die Ressourcennutzung in Fahrzeugen. Durch Intelligente Routenplanung und vorausschauendes Fahren können Energie eingespart und der Verkehrsfluss verbessert werden. In Elektrofahrzeugen kann KI beispielsweise das Energiemanagement optimieren, um die Reichweite zu maximieren.²⁰

Ein entscheidender Vorteil von KI-basierten Systemen ist ihre Fähigkeit zum kontinuierlichen Lernen. Durch die Analyse realer Fahrsituationen können diese Systeme ihre Leistung stetig verbessern. Dies ist besonders wichtig für autonome Fahrzeuge, da sie mit einer Vielzahl von unvorhersehbaren Situationen umgehen müssen. Machine-Learning-Algorithmen ermöglichen es, aus jeder Fahrt zu lernen und das erworbene Wissen auf zukünftige Situationen anzuwenden.²¹

Aktuelle Forschungen zeigen, dass KI-gestützte ADAS und autonome Fahrsysteme in vielen Szenarien bereits besser abschneiden als menschliche Fahrer, insbesondere in Bezug auf Reaktionszeit und Konsistenz der Entscheidungen. BACHUTE U. SUBHEDAR belegen, dass KI-Algorithmen in der Lage sind, komplexe Aufgaben wie die Geschwindigkeitsregelung und Fußgängererkennung mit hoher Präzision durchzuführen.²²

Die Integration von KI in Fahrassistenzsysteme und autonome Fahrzeuge geschieht jedoch nicht ohne Herausforderungen. Ethische Fragen, wie KI-Systeme in Dilemma-Situationen entscheiden sollen, sowie rechtliche und regulatorische Aspekte müssen noch geklärt werden. Zudem erfordert die Implementierung robuster und zuverlässiger KI-Systeme in Fahrzeugen erhebliche Investitionen in Forschung und Entwicklung.

Trotz dieser Herausforderungen ist der Trend zur verstärkten Nutzung von KI in der Automobilindustrie unaufhaltsam. Die kontinuierliche Weiterentwicklung von KI-Technologien verspricht, die Sicherheit und Effizienz des Straßenverkehrs weiter zu verbessern und den Weg für vollständig autonome Fahrzeuge zu ebnen. Dies wird nicht nur die Art und Weise, wie wir uns fortbewegen,

grundlegend verändern, sondern auch neue Möglichkeiten für Mobilität und Transportlösungen eröffnen.²³

KI-gestützte Sicherheitslösungen

Die zunehmende Vernetzung und Digitalisierung moderner Fahrzeuge haben zu einer signifikanten Erweiterung der Angriffsfläche für Cyberkriminelle geführt. Diese Entwicklung stellt die Automobilindustrie vor neue Herausforderungen im Bereich der Fahrzeugsicherheit. In diesem Kontext haben sich KI-gestützte Sicherheitslösungen als vielversprechender Ansatz zur Bewältigung dieser komplexen Bedrohungslandschaft erwiesen.²⁴

KI-basierte Sicherheitssysteme zeichnen sich durch ihre Fähigkeit aus, proaktiv und in Echtzeit auf potenzielle Bedrohungen zu reagieren. Im Gegensatz zu traditionellen, regelbasierten Sicherheitssystemen können KI-Algorithmen dynamisch auf neue und unbekannte Bedrohungen reagieren. Dies ist besonders wichtig in einer Umgebung, in der sich Angriffsmethoden ständig weiterentwickeln.

Ein Kernbestandteil dieser KI-Sicherheitslösungen sind Anomalie-Erkennungs-Algorithmen. Diese Algorithmen analysieren kontinuierlich das Verhalten aller Systeme und Netzwerke innerhalb des Fahrzeugs. Dabei lernen sie, was als „normales“ Verhalten gilt und können Abweichungen davon schnell identifizieren. Sobald eine verdächtige Aktivität erkannt wird, können diese Systeme automatisch Gegenmaßnahmen einleiten. Dies kann von der Isolierung betroffener Systeme bis hin zur Aktivierung von Notfallprotokollen reichen.

Die Stärke KI-basierter Sicherheitssysteme liegt in ihrer Fähigkeit zum kontinuierlichen Lernen. Sie analysieren ständig neue Angriffsmuster und passen ihre Abwehrstrategien entsprechend an. Dies ermöglicht eine deutlich schnellere und effektivere Reaktion auf neue Bedrohungen, als es mit manuellen Updates möglich wäre. So können diese Systeme beispielsweise Muster in Datenströmen erkennen, die auf einen bevorstehenden Angriff hindeuten, noch bevor dieser tatsächlich stattfindet.²⁵

¹⁹ S. SAINTELEMY 2024

²⁰ S. SINGH 2025

²¹ S. CHEN ET AL. 2024

²² S. BACHUTE U. SUBHEDAR 2021

²³ S. ebda

²⁴ S. RAJAPAKSHA ET AL. 2023, S. 2

²⁵ S. AHMED ET AL. 2024

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist der Schutz sensibler Daten. Moderne Fahrzeuge generieren und verarbeiten große Mengen an persönlichen und technischen Daten. KI-Systeme können den Zugriff auf diese Daten überwachen und ungewöhnliche Zugriffsversuche sofort erkennen und blockieren. Dies ist besonders wichtig, da Datenschutz und Privatsphäre zunehmend in den Fokus der Verbraucher und Regulierungsbehörden rücken.²⁶

Die Implementierung von KI in der Fahrzeugsicherheit geht über den reinen Schutz vor Cyberangriffen hinaus. Diese Systeme können auch zur Verbesserung der physischen Sicherheit beitragen. Etwa können sie ungewöhnliche Fahrzeugbewegungen oder Zugriffsversuche erkennen, die auf einen Diebstahlversuch hindeuten könnten.²⁷

AHMED ET AL. (2024) betonen in ihrer Forschung die Bedeutung von KI für die Sicherheit in vernetzten und autonomen Fahrzeugen. Sie heben hervor, dass KI-Systeme nicht nur reaktiv, sondern auch prädiktiv arbeiten können. Durch die Analyse historischer Daten und aktueller Trends können diese Systeme potenzielle zukünftige Bedrohungen vorhersagen und präventive Maßnahmen einleiten.²⁸

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass KI-gestützte Sicherheitslösungen einen entscheidenden Beitrag zur Gewährleistung der Cybersicherheit und des Datenschutzes in modernen Fahrzeugen leisten. Durch ihre Fähigkeit zur Echtzeitanalyse, kontinuierlichen Anpassung und proaktiven Bedrohungsabwehr bieten sie einen umfassenden Schutz für die gesamte Fahrzeugarchitektur. Mit der fortschreitenden Entwicklung autonomer und vernetzter Fahrzeuge wird die Bedeutung dieser KI-basierten Sicherheitssysteme weiter zunehmen und eine Schlüsselrolle bei der Gewährleistung der Sicherheit und Zuverlässigkeit zukünftiger Mobilitätslösungen spielen.

Kooperationen zwischen Automobilherstellern und Technologieunternehmen

Die erfolgreiche Integration von KI erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Automobilherstellern und Technologieunternehmen. Solche Partnerschaften ermöglichen den Zugang zu modernster Technologie und Expertise in Bereichen wie Cloud-Computing, Edge-Computing oder Big-Data-Analyse²⁹.

So können beispielsweise cloudbasierte Plattformen genutzt werden, um große Datenmengen effizient zu verarbeiten und gleichzeitig die Rechenlast im Fahrzeug selbst zu reduzieren. Kooperationen fördern zudem Innovationen durch den Austausch von Know-how und Ressourcen.

Ein herausragendes Beispiel für solche Kooperationen ist die Partnerschaft zwischen Toyota Motor Corporation und Nippon Telegraph and Telephone Corporation (NTT). Diese beiden führenden japanischen Unternehmen haben eine gemeinsame Initiative zur Entwicklung einer umfassenden Mobilitäts-KI-Plattform angekündigt. Mit einer geplanten Investition von 500 Milliarden Yen (etwa 3,3 Milliarden US-Dollar) bis 2030 unterstreicht dieses Projekt die langfristige Verpflichtung beider Unternehmen zur Gestaltung der Zukunft der Mobilität.

Die Partner entwickeln eine KI-Plattform für prädiktive Unfallvermeidung durch Infrastruktur-Vernetzung, autonomes Notfallmanagement bei kritischen Verkehrssituationen und energieoptimierte Routenplanung mittels Echtzeit-Verkehrsanalysen.

Ziel ist es, eine Gesellschaft ohne Verkehrsunfälle durch fortschrittliche autonome Fahrtechnologie zu schaffen. Die geplante Plattform soll Unfälle antizipieren, bevor sie geschehen, und die Kontrolle über Fahrzeuge übernehmen, um Kollisionen zu vermeiden. Dies erfordert die Entwicklung einer hochkomplexen Infrastruktur, die Menschen, Fahrzeuge und die Umgebung miteinander verbindet.³⁰

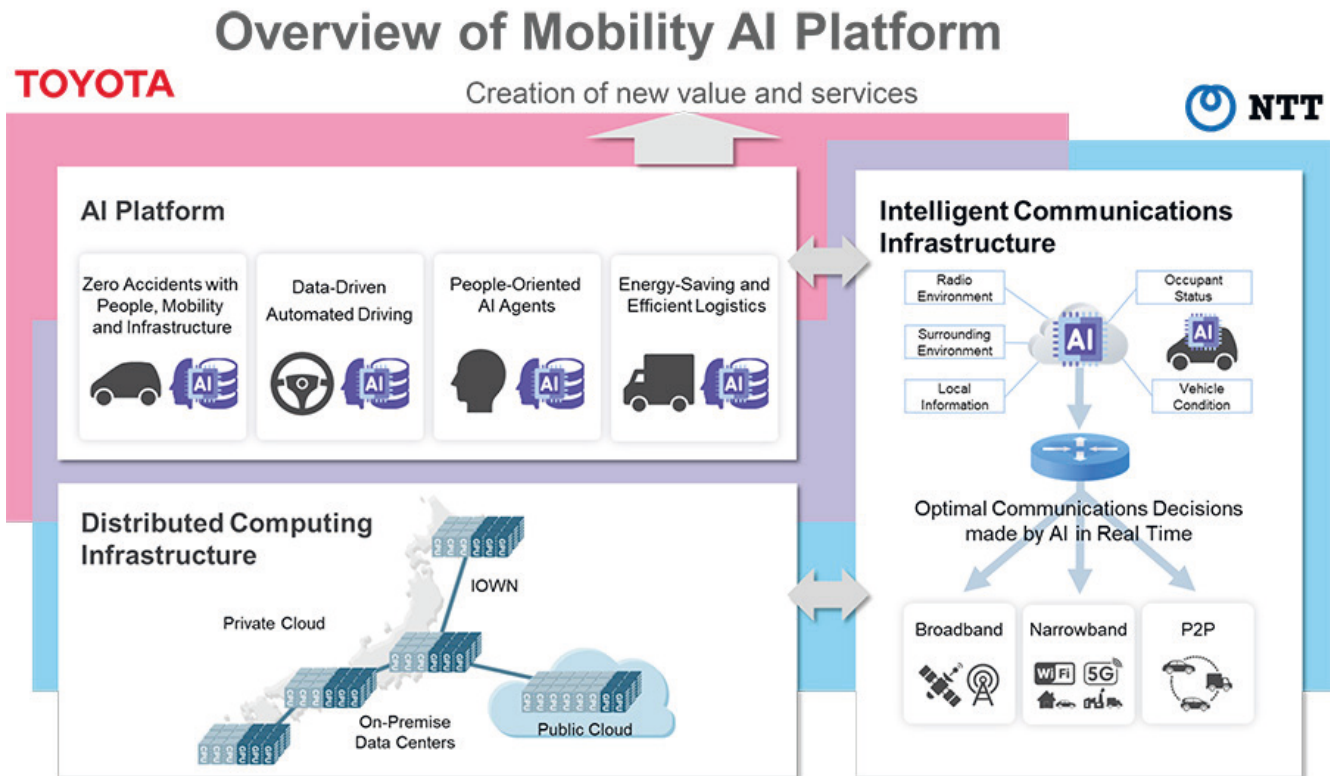
Die Partnerschaft zwischen Toyota und NTT ist ein Paradebeispiel dafür, wie die Kombination von Automobilexpertise und fortschrittlicher Telekommunikationstechnologie zu bahnbrechenden Innovationen führen kann. Sie zeigt auch, wie traditionelle Industriegrenzen verschwimmen und neue, branchenübergreifende Ökosysteme entstehen.

Weitere Beispiele für solche Kooperationen finden sich in der gesamten Branche. So arbeitet Volkswagen mit NVIDIA zusammen, um KI-gestützte Fahrerassistenzsysteme zu entwickeln, während Ford eine Partnerschaft mit Google eingegangen ist, um cloudbasierte Dienste und KI-Technologien in seine Fahrzeuge zu integrieren.

²⁶ <https://horizonconnect.de/ai-in-automotive-cybersecurity/>
(Link zuletzt geprüft: 23.04.2025)

²⁷ <https://www.toolify.ai/ai-news/prevent-vehicle-theft-with-advanced-antitheft-solution-and-stolen-vehicle-recovery-techniques-634320>
(Link zuletzt geprüft: 23.04.2025)

²⁸ S. AHMED ET AL. 2024, S. 3 – 5



Copyright 2024 NTT CORPORATION

Bild 10: Components of the mobility AI infrastructure (NTT online, 2024)

Diese Partnerschaften gehen oft über die reine Technologieentwicklung hinaus. Sie umfassen auch die gemeinsame Erforschung neuer Geschäftsmodelle, wie etwa Mobility-as-a-Service (MaaS) oder datengetriebene Versicherungslösungen. Dadurch entstehen nicht nur technologische Innovationen, sondern auch neue Wertschöpfungsketten und Dienstleistungen im Mobilitätssektor.

Partnerschaften zwischen Automobilherstellern und Technologieunternehmen spielen eine Schlüsselrolle bei der Transformation der Mobilitätsbranche. Sie vereinen das Beste aus beiden Welten – die tiefgreifende Erfahrung in der Fahrzeugentwicklung mit Cutting-Edge-Technologien – und schaffen damit die Grundlage für die nächste Generation intelligenter, vernetzter und autonomer Fahrzeuge. Diese Kooperationen werden nicht nur die Art und Weise, wie wir Mobilität verstehen und nutzen, grundlegend verändern, sondern auch neue Maßstäbe in Bezug auf Sicherheit, Effizienz und Nachhaltigkeit im Verkehrswesen setzen.

Fazit

Die Integration von KI in bestehende Fahrzeugarchitekturen erfordert einen ganzheitlichen Ansatz, der technologische Innovationen mit strategischen Partnerschaften verbindet. Zentralisierte Architekturen bieten eine Grundlage für effiziente Datenverarbeitung und unterstützen KI-gesteuerte Entscheidungen. OTA-Updates gewährleisten die kontinuierliche Verbesserung von KI-Modellen während des gesamten Fahrzeuglebenszyklus, während KI-basierte Sicherheitslösungen den Schutz vor Cyberbedrohungen erhöhen. Gleichzeitig fördern Kooperationen zwischen Automobilherstellern und Technologieunternehmen den Zugang zu innovativen Technologien und beschleunigen deren Implementierung. Durch diese Maßnahmen können Automobilhersteller nicht nur den steigenden Anforderungen gerecht werden, sondern auch neue Maßstäbe in der Mobilität setzen – hin zu sichereren, effizienteren und intelligenteren Fahrzeugen für die Zukunft.

¹⁹ S. SAINTELEMY 2024

²⁰ S. SINGH 2025

²¹ S. CHEN ET AL. 2024

²² S. BACHUTE U. SUBHEDAR 2021

²³ S. EBDA

²⁴ S. RAJAPAKSHA ET AL. 2023, S. 2

²⁵ S. AHMED ET AL. 2024

Kreislaufwirtschaft in der Automobilbranche: Re-Assembly und Langlebigkeit als Zukunftsmodell

Sich verändernde Kundenbedürfnisse und politische Rahmenbedingungen treiben die Transformation der Automobilbranche zu mehr Nachhaltigkeit voran. Im Zentrum dieser Bewegung steht die Kreislaufwirtschaft (eng. Circular Economy, kurz CE), die darauf abzielt, Ressourcen effizienter zu nutzen und Abfall durch geschlossene Materialkreisläufe zu minimieren. Diese nachhaltige Produktions- und Konsumweise bietet der Branche sowohl immense Chancen als auch erhebliche Herausforderungen.

Kreislaufwirtschaft beschreibt ein Wirtschaftssystem, das auf der Wiederverwendung von Ressourcen basiert. Anders als das lineare Modell („Take – Make – Dispose“) konzentriert sich die CE darauf, Produkte und Materialien so lange wie möglich im Kreislauf zu halten. Wichtige Prinzipien sind:

- Lebenszyklusverlängerung durch Reparatur, Wiederverwendung und Remanufacturing,
- Recycling und Materialeffizienz, um wertvolle Rohstoffe zurückzugewinnen und
- Digitalisierung, um Transparenz über Produktlebenszyklen zu gewährleisten.

Im Kontext der Automobilindustrie sind diese Prinzipien von besonderer Bedeutung, da Fahrzeuge komplexe Produkte mit einer Vielzahl von Komponenten und Materialien darstellen.

Herausforderungen

Die Umstellung der bisherigen Automobilproduktionspraktiken steht allerdings noch vor einigen Herausforderungen: Die Komplexität der Implementierung der CE von linearen auf zirkuläre Produktionsprozesse ist mit erheblichen technischen und organisatorischen Herausforderungen verbunden. Insbesondere die Gestaltung von Fahrzeugarchitekturen, die auf Demontage und Wiederverwendung ausgelegt sind, erfordert umfassende Innovationen. Die Einrichtung von Re-Assembly-Fabriken, in denen Fahrzeuge wieder aufbereitet und aufgewertet werden, sowie die Entwicklung digitaler Produktakten erfordern initiale Anlaufinvestitionen. Viele Unternehmen zögern, diese Kosten zu tragen, insbesondere wenn kurzfristige Gewinne priorisiert werden bzw. die aktuellen Produktionsprozesse eine weiter hohe Auslastung für einen effizienten Betrieb benötigen. Außerdem ist es für eine erfolgreiche CE zwingend erforderlich, eine enge Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Akteuren, wie Rohstoffproduzenten, Zulieferern und Recyclingunternehmen, zu gewährleisten. Diese Koordination ist komplex und erfordert den Austausch sensibler Daten. Hier spielen Informations-Treuhänder eine zentrale Rolle, die den sicheren Umgang mit wettbewerbskritischen Daten gewährleisten. Die Entwicklung von Technologien, die eine effiziente Demontage, Wiederverwendung und Aufbereitung von Fahrzeugteilen ermöglichen, ist eine weitere Hürde. Gleichzeitig müssen digitale Systeme robust genug sein, um große Mengen an Daten zu verarbeiten und die Sicherheit dieser Informationen zu gewährleisten.

Chancen

Die Automobilindustrie ist stark von Rohstoffen wie Aluminium, Stahl und seltenen Erden abhängig. Angesichts knapper werdender Ressourcen und steigender Preise bietet die CE eine Möglichkeit, diese Abhängigkeit zu reduzieren. Durch Recycling und die Wiederverwendung von Komponenten können Hersteller Materialkosten senken und die Versorgungssicherheit steigern.

Gleichzeitig verursacht die Automobilproduktion erhebliche Umweltauswirkungen, darunter hohe CO₂-Emissionen. Durch die Integration von Kreislaufprozessen wie Re-Assembly-Fabriken kann der CO₂-Ausstoß erheblich gesenkt werden. Eine nachhaltige Re-Assembly-Fabrik hat somit das Potenzial, nicht nur den ursprünglichen CO₂-Abdruck des Fahrzeugs in der Herstellung zu senken, sondern diesen über den gesamten Lebenszyklus des Produkts gegenüber einer mehrfachen Neuproduktion eines Autos über den gleichen Betrachtungszeitraum zu senken.

Die Digitalisierung spielt eine zentrale Rolle in der CE. Digitale Produktakten, wie sie im Konzept des *Internet of Sustainable Production* beschrieben werden, ermöglichen eine transparente Überwachung des gesamten Produktlebenszyklus. Solche Systeme bieten Herstellern die Möglichkeit,

datenbasierte Entscheidungen zu treffen und neue Geschäftsmodelle wie Predictive Maintenance oder Upgrades zu etablieren. Gesetzliche Vorgaben und gesellschaftlicher Druck erfordern von Unternehmen zunehmend nachhaltiges Handeln. CE-Strategien können dabei helfen, diese Anforderungen zu erfüllen und gleichzeitig das Markenimage zu stärken. Verbraucher*innen bevorzugen zunehmend umweltfreundliche Produkte, wodurch Unternehmen, die auf Nachhaltigkeit setzen, Wettbewerbsvorteile erzielen können.

Für eine effektive Kreislaufwirtschaft muss neben dem Recycling auch die Lebensdauer von Produkten verlängert werden. Das gilt auch für Pkw.

Durch die Antriebswende hin zur Elektromobilität ergeben sich neue Chancen und Potenziale, die CE in der Automobilindustrie zu verankern. Die durchschnittliche Lebensdauer eines Kraftfahrzeugs (Kfz) in Deutschland beträgt etwa 12 Jahre, bei den aktuell zugelassenen Pkw liegt sie derzeit sogar nur bei etwa 10,3 Jahren. Da der Elektromotor weit über 50 Jahre halten kann und die Batterien der Fahrzeuge ausgewechselt und zweitverwertet werden können, hat die Branche aktuell die Chance, mit disruptiven Ansätzen in der Fahrzeugkonzeption die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft weiterzudenken und die Langlebigkeit der Fahrzeuge um ein Vielfaches zu erhöhen.

Lösungen

Mobilität kann nur nachhaltig sein, wenn sie zirkulär, werterhaltend und nicht als aktualisierungsunfähiger „Einmalartikel“ gedacht wird. Zentral ist dabei, dass das Produkt Auto in einen Erneuerungs- und Wiederverwendungskreislauf eingebracht wird. Um das zu erreichen, muss die Konstruktion des Fahrzeugs genauso wie die Automobilproduktion neu betrachtet werden.

Diese Transformation erfordert einen Paradigmenwechsel in der Automobilindustrie, der nicht nur technologische Innovationen, sondern auch eine Neuausrichtung der Geschäftsmodelle und Konsummuster umfasst:

weg vom „Wegwerfauto“ hin zu langlebigen, nachhaltigen Fahrzeugen, insbesondere zu modularen, kreislaufwirtschaftsfähigen, updatefähigen Fahrzeugen.

¹ s. KRENZER 2023

Re-Assembly: Die technologische Transformation der Fahrzeuglebenszyklen

Re-Assembly beschreibt einen innovativen Ansatz, bei dem Fahrzeuge regelmäßig industriell erneuert und aktualisiert werden¹. Statt Autos nach durchschnittlich 11,3 Jahren zu verschrotten, sollen sie durch modulare Bauweise und gezielte Erneuerung bis zu 50 Jahre genutzt werden können².

Kernelemente des Re-Assembly-Konzepts:

- Modularer Aufbau: Fahrzeuge werden so konstruiert, dass Komponenten einfach ausgetauscht oder aktualisiert werden können³.
- Upgrade-Re-Assembly-Factory: Spezielle Fabriken, in denen Autos alle fünf Jahre industriell erneuert werden⁴.
- Digitale Produktakte: Erfasst den Zustand und Lebenszyklus aller Komponenten für eine effiziente Überarbeitung⁵.

Langlebigkeit als Schlüssel zur Nachhaltigkeit

Die Verlängerung der Fahrzeuglebensdauer ist ein zentraler Aspekt der Kreislaufwirtschaft in der Automobilbranche⁶. Moderne Elektrofahrzeuge bieten hier besondere Chancen:

- Elektromotoren haben eine 4 – 5 Mal längere Lebensdauer als Verbrennungsmotoren⁷.
- Batterien können nach dem mobilen Einsatz noch 20 Jahre stationär genutzt werden⁸.
- Langlebige Chassis können über mehrere Fahrzeuggenerationen genutzt werden⁹.

Vorteile der Kreislaufwirtschaft im Automobilbau

- Ökologisch: Reduzierung des CO₂-Fußabdrucks durch längere Nutzung von Komponenten¹⁰.
- Ökonomisch: Höhere Margen für Hersteller durch Re-Assembly und Serviceleistungen¹¹.
- Ressourcenschonung: Verringerter Bedarf an Primärrohstoffen durch Wiederverwendung (VDA).

Die Umsetzung des Kreislaufwirtschafts- konzepts erfordert ein Umdenken in der gesamten Branche:

- Produktdesign: Fahrzeuge müssen von Grund auf für Langlebigkeit und einfache Demontage konzipiert werden¹².
- Standardisierung: Initiativen wie OSCAR (Open Source Car Architecture Research)¹³ arbeiten an einheitlichen Standards für modulare Fahrzeuge¹⁴.

- Konsumentenakzeptanz: Verbraucher müssen vom Wert aufbereiteter Komponenten überzeugt werden¹⁵. Subskriptionsmodelle im Rundum-Sorglos-Paket helfen, die Kundenakzeptanz für den Prozess zu erhöhen.

Ökonomisch-ökologische Synergieeffekte

Analysen zeigen, dass Re-Assembly-Systeme folgende Wirkungen entfalten¹⁶:

Materialeffizienz

- Reduktion des Stahlbedarfs um 37 Millionen Tonnen pro Jahr bis 2040 durch verlängerte Nutzungszyklen
- 92-Prozent-Rückgewinnungsrate seltener Erden in E-Motoren

Klimawirkung

- CO₂-Reduktion um 48 Prozent pro Fahrzeuglebenszyklus durch verlängerte Erstnutzung
- 63 Prozent geringerer Energiebedarf gegenüber Neufahrzeugproduktion

Geschäftsmodelle

- Profitabilitätssteigerung um 22 Prozent durch serviceorientierte Umsatzmodelle
- Entwicklung von Performance-based Contracts (z. B. Euro/Kilometer-Mietmodelle)
- Subskription/Produkt-as-a-Service: Modelle, bei denen Kund*innen Fahrzeuge nutzen statt sie zu kaufen, können die Effizienz der Ressourcennutzung steigern und neue Ertragsquellen eröffnen¹⁷.

Ein konsequent gedachtes Beispiel für die Umsetzung von Kreislaufwirtschaft in der Automobilbranche ist die Green Re-Assembly-Factory, wie sie auf dem Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium 2023 präsentiert wurde. Diese Fabriken sind speziell darauf ausgelegt, Altteile zu demontieren, aufzubereiten und wieder in den Produktionsprozess zu integrieren. Solche Ansätze reduzieren nicht nur Abfälle, sondern schaffen auch neue Möglichkeiten der Wertschöpfung.

² S. D. S. LINDNER 2023

³ S. KÖLLNER 2024

⁴ S. FECHT 2023

⁵ S. LIEBIG 2023

⁶ S. POLL 2023

⁷ S. GERHARDT 2023

⁸ S. LINDNER 2023

⁹ S. POLL 2023

¹⁰ S. POLL 2023

¹¹ S. LINDNER 2023

¹² S. KÖLLNER 2024

¹³ <https://www.oscar.tech/en/> (Link zuletzt geprüft: 03.03.2025)

¹⁴ S. GERHARDT 2023, S. A. <https://www.solarify.eu/2023/05/17/758-erstes-circular-economy-auto/> (Link zuletzt geprüft: 02.06.2025)

¹⁵ S. POLL 2023

¹⁶ <https://www.bmwgroup.com/de/nachhaltigkeit/kreislaufwirtschaft.html> (Link zuletzt geprüft: 03.03.2025)

¹⁷ S. IAA O. D.

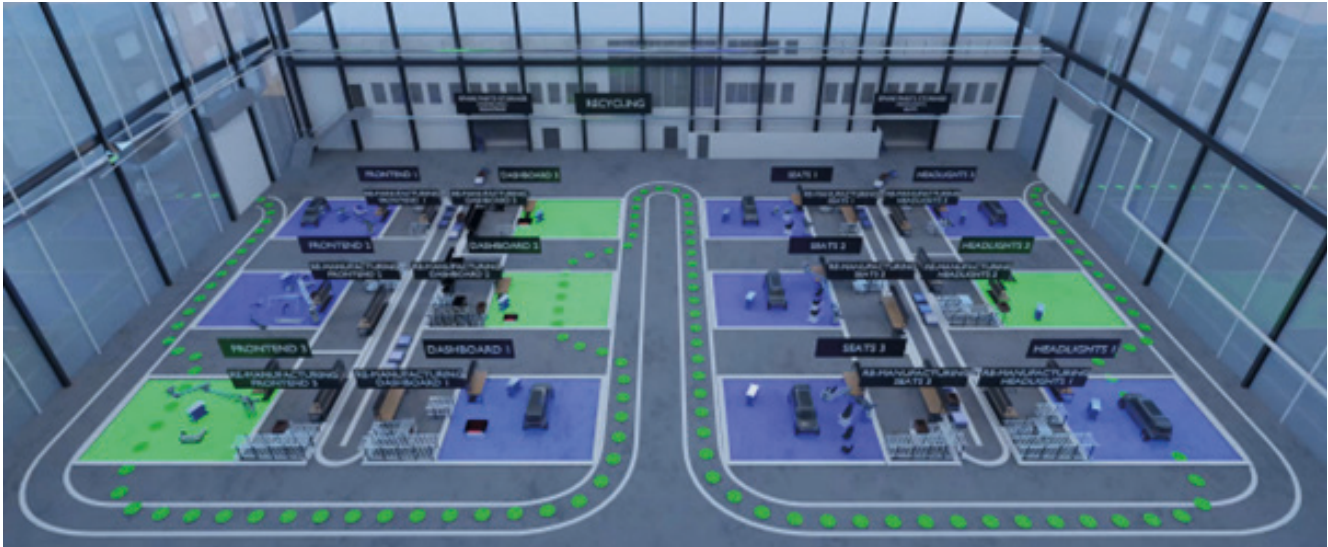


Bild 11: Übersicht einer Upgrade Re-Assembly Fabrik für den Automobilsektor
(Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen, 2023)

Entscheidend bei dem Aachener Modell ist der Upgrade-Ansatz, der den Kreislauf-Ansatz wirtschaftlich und attraktiv macht. Im Gegensatz zum traditionellen Recycling, bei dem Materialien oft in minderwertigere Produkte umgewandelt werden (Downcycling), setzt die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft auf hochwertiges Wiederaufbereiten, Modernisieren und Verlängern der Lebensdauer von Fahrzeugen und Teilen. Dabei spielen digitale Technologien eine zentrale Rolle für effizientere Kreisläufe. KI und IoT ermöglichen Predictive Maintenance, um Teile gezielt zu warten oder zu ersetzen. Sensoren beispielsweise überwachen den Zustand eines Bauteils und melden, wenn eine Aufbereitung nötig ist. Ansonsten wird das Fahrzeug in einem Turnus von beispielsweise fünf Jahren in den Upgrade-Re-Assembly-Prozess gebracht und in den dafür ausgelegten Fabriken erneuert und modernisiert. Die Kund*innen erhalten so ein für sie neuwertiges modernes Fahrzeug.

Zukunftsperspektiven

Die Integration der Kreislaufwirtschaft in die Automobilindustrie steht noch am Anfang. Dennoch zeichnet sich ab, dass dieser Ansatz langfristig unverzichtbar sein wird. Insbesondere mit Blick auf die Digitalisierung und die Nutzung Künstlicher Intelligenz (KI) bieten sich zahlreiche Möglichkeiten, um Effizienz und Nachhaltigkeit weiter zu steigern.

Ein zentraler Aspekt wird die Weiterentwicklung von Technologien sein, die eine wirtschaftliche Umsetzung von Kreislaufprozessen

ermöglichen. Gleichzeitig müssen politische Anreize und Regulierungen geschaffen werden, um Investitionen in die CE zu fördern.

Fazit

Die Kreislaufwirtschaft in der Automobilbranche verspricht eine Win-win-Situation für Umwelt und Wirtschaft. Durch Re-Assembly und Fokus auf Langlebigkeit können Emissionen reduziert und gleichzeitig neue Geschäftsmodelle erschlossen werden. Obwohl noch Herausforderungen zu bewältigen sind, zeigen Konzepte wie das „50-Jahre-Auto“ aus Aachen das enorme Potenzial dieses Ansatzes.

Die Kreislaufwirtschaft bietet der Automobilbranche die Chance, nachhaltig zu wirtschaften, Ressourcen effizienter zu nutzen und gleichzeitig neue Wertschöpfungspotenziale zu erschließen. Trotz der bestehenden Herausforderungen – wie hoher Investitionsbedarf und komplexe Wertschöpfungsketten – zeigen innovative Ansätze wie digitale Produktakten und Green Re-Assembly-Fabriken, dass die Umsetzung möglich und profitabel sein kann.

Um das volle Potenzial der Kreislaufwirtschaft auszuschöpfen, ist eine enge Zusammenarbeit aller Akteure sowie die konsequente Nutzung digitaler Technologien erforderlich. Nur so kann die Automobilbranche langfristig nachhaltig und wettbewerbsfähig bleiben.

Die Transformation hin zur Kreislaufwirtschaft erfordert Investitionen und Umdenken, bietet aber die Chance, die Automobilindustrie nachhaltig zu revolutionieren und fit für die Zukunft zu machen.

Perspektiven

Die Automobilindustrie steht vor einer tiefgreifenden Veränderung, die durch die Einführung softwaredefinierter Fahrzeuge und fortschrittlicher E/E-Architekturen geprägt ist. Unternehmen können durch die Implementierung zentraler Recheneinheiten und die Trennung von Software und Hardware nachhaltige Vorteile erzielen. Diese neuen Architekturen ermöglichen eine effizientere Nutzung von Ressourcen und eine bessere Integration von Softwarefunktionen, was die Komplexität reduziert und die Flexibilität erhöht.

Die Zukunft der E/E-Architektur liegt in flexiblen, skalierbaren und hochintegrierten Systemen, die den steigenden Anforderungen an Rechenleistung und Konnektivität gerecht werden. Automobilhersteller und Zulieferer müssen sich auf diese Veränderungen einstellen, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Die Transformation der Wertschöpfung wird maßgeblich durch digitale Innovationen geprägt, wobei Unternehmen eine duale Strategie verfolgen müssen, die sowohl digitale als auch physische Wertschöpfung berücksichtigt.

Zukünftige Geschäftsmodelle werden sich verstärkt auf digitale Services und wiederkehrende Einnahmen konzentrieren, was eine grundlegende Neugestaltung der Wertschöpfungskette erfordert. Durch die Öffnung des Marktes für neue Teilnehmer und die Einführung neuer Technologien entsteht ein wettbewerbsfähiges Umfeld, das sowohl Herausforderungen als auch Chancen bietet. Unternehmen müssen sich anpassen, um sowohl auf kurzfristige Marktveränderungen reagieren als auch langfristige Stabilität und Planungssicherheit gewährleisten zu können.

Software-unterstützte Fahrzeuge werden zu Plattformen für personalisierte On-Demand-Dienste, was erhebliche Investitionen in Technologie und Software erfordert, um Netzwerkeffekte zu ermöglichen und die Sicherheit sowie den Datenschutz zu gewährleisten. Erfolgreiche Plattformstrategien, wie sie in anderen Branchen erprobt wurden, können als Modell dienen. Partnerschaften mit Technologieunternehmen, die Entwicklung eigener Betriebssysteme und die Einführung strenger Sicherheitsprotokolle sind entscheidende Faktoren für den Erfolg.



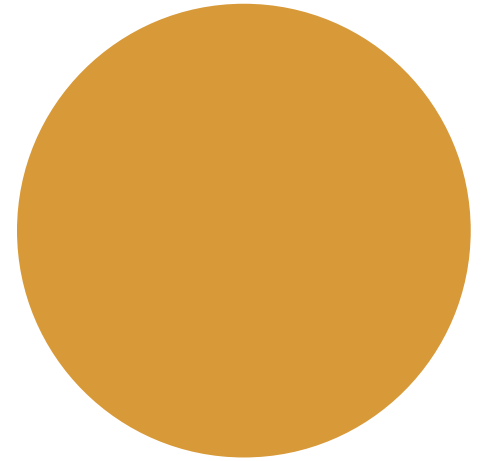
Fahrzeughersteller integrieren zunehmend Smartphone-Apps und entwickeln umfassende Plattformen, um den Nutzer*innen ein erweitertes und personalisiertes Fahrerlebnis zu bieten. Fahrzeuge sind nicht mehr nur physische Produkte, sondern digitale Schnittstellen, die ein breites Spektrum an Diensten und Funktionen bereitstellen. Diese Entwicklung verändert das Geschäftsmodell der Automobilbranche grundlegend, indem sie neue Einnahmequellen durch digitale Dienste und Abonnements erschließt. Gleichzeitig müssen Hersteller die wachsenden Anforderungen an Cybersecurity bewältigen, um die zunehmende Vernetzung der Fahrzeuge vor Bedrohungen zu schützen.

Die Neugestaltung der Industriebeziehungen in der Automobilbranche ist eine notwendige Antwort auf die fortschreitende Digitalisierung und die Entwicklung softwaredefinierter Fahrzeuge. Eine offene Plattformstrategie, neue Partnerschaftsmodelle und die Integration von Drittanbietern sind zentrale Elemente dieses Wandels. OEM müssen als zentrale Integratoren agieren und die Architektur von Hard- und Software definieren. Gleichzeitig bietet die neue Fahrzeugarchitektur den Chip-Zulieferern und IKT-Unternehmen neue Chancen, sich in das Ökosystem zu integrieren und gemeinsam Innovationen zu schaffen.

Die fortschreitende Entwicklung hin zu softwaredefinierten Fahrzeugen bringt sowohl immense Chancen als auch erhebliche Herausforderungen mit sich. Um den hohen Anforderungen gerecht zu werden, müssen Entwickler und Hersteller von Fahrzeugsoftware auf modularisierte Architekturen und zentrale Designs setzen. Die Einhaltung strenger Sicherheitsstandards wie der ISO 26262 und der UNECE WP.29 sind unabdingbar, um die Sicherheit der Fahrzeuginsassen zu gewährleisten. Gleichzeitig müssen innovative Ansätze wie „Security by Design“ und fortschrittliche Verschlüsselungstechnologien implementiert werden, um Cyberbedrohungen effektiv zu begegnen.

Durch den Einsatz robuster OTA-Update-Systeme kann die Software zudem kontinuierlich aktualisiert und gesichert werden. Nur durch eine ganzheitliche Betrachtung und die konsequente Umsetzung dieser Strategien kann die Fahrzeugsoftware der Zukunft sicher, zuverlässig und zukunftsfähig gestaltet werden. Agile Methoden und Continuous Integration/Deployment bieten vielversprechende Ansätze, um den Herausforderungen der modernen Softwareentwicklung in der Automobilindustrie zu begegnen. Sie ermöglichen eine flexible und effiziente Entwicklung, die den hohen Sicherheitsanforderungen gerecht wird und gleichzeitig die Time-to-Market verkürzt.

Die erfolgreiche Umsetzung erfordert jedoch nicht nur die Einführung geeigneter Werkzeuge und Technologien, sondern auch eine Veränderung der Unternehmenskultur und eine enge Zusammenarbeit im Team und mit dem Kunden. Die Automobilindustrie muss schon heute traditionelle Entwicklungsansätze mit modernen Methoden kombinieren, um den Anforderungen der digitalen



Transformation gerecht zu werden. Unternehmen, die diese Methoden erfolgreich umsetzen, können ihre Wettbewerbsfähigkeit steigern und den Anforderungen des Marktes besser gerecht werden.

Die Integration von KI in bestehende Fahrzeugarchitekturen erfordert einen ganzheitlichen Ansatz, der technologische Innovationen mit strategischen Partnerschaften verbindet. Zentralisierte Architekturen bieten eine Grundlage für effiziente Datenverarbeitung und unterstützen KI-gesteuerte Entscheidungen. Over-the-Air-Updates gewährleisten die kontinuierliche Verbesserung von KI-Modellen während des gesamten Fahrzeuglebenszyklus, während KI-basierte Sicherheitslösungen den Schutz vor Cyberbedrohungen erhöhen. Gleichzeitig fördern Kooperationen zwischen Automobilherstellern und Technologieunternehmen den Zugang zu innovativen Technologien und beschleunigen deren Implementierung.

Durch diese Maßnahmen können Automobilhersteller nicht nur den steigenden Anforderungen gerecht werden, sondern auch neue Maßstäbe in der Mobilität setzen – hin zu sichereren, effizienteren und intelligenteren Fahrzeugen für die Zukunft. Die Automobilbranche hat das Potenzial, durch diese Maßnahmen nicht nur den Anschluss an die digitale Zukunft zu schaffen, sondern auch eine führende Rolle in der Entwicklung innovativer und nachhaltiger Mobilitätslösungen einzunehmen.

Es liegt an allen Akteuren der Automobilbranche, diesen Wandel entschlossen anzugehen und die Chancen der digitalen Transformation zu nutzen. Sowohl etablierte Unternehmen als auch neue Marktteilnehmer haben die Möglichkeit, durch innovative Strategien und Partnerschaften die Zukunft der Mobilität zu gestalten und ihre Wettbewerbsfähigkeit zu stärken.

Literaturverzeichnis

AHMAD, U.; HAN, M.; MAHMOOD, S.: Enhancing Security in Connected and Autonomous Vehicles. In: Applied Sciences 14(2024)13, S. 5648, 19 S. DOI: 10.3390/app14135648.

AHMED, R. H.; HUSSAIN, M.; ABBAS, H.; ZAHID, S.; TARIQ, M. H.: Enhancing autonomous vehicle security through advanced artificial intelligence techniques. In: Journal of Computer Science and Electrical Engineering 6(2024)4, S. 2663–2668. DOI: 10.61784/jcsee3017.

ASKARIPOOR, H.; HASHEMI FARZANEH, M.; KNOLL, A.: E/E Architecture Synthesis: Challenges and Technologies. In: Electronics 11 (2022) 4, S. 1 – 26.

AUTOMOTORSPOORT (RED.) (HRSG.): Revolution, Disruption und Chance: Alles über Künstliche Intelligenz. AMS online, 24.06.2024. <https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/kuenstliche-intelligenz-automobilindustrie/> (Link zuletzt geprüft: 03.03.2025)

AVENGA (HRSG.): KI in der Automobil-Industrie: Trends und Potenziale. Avenga online, 28.06.2024. <https://www.avenga.com/de/magazine/ki-in-der-automobilindustrie/?region=de> (Link zuletzt geprüft: 02.03.2025)

BACHUTE, M. R.; SUBHEDAR, J. M.: Autonomous driving architectures: insights of machine learning and deep learning algorithms. In: Machine Learning with Applications 6(2021)8, S. 100164; 26 S. DOI: 10.1016/j.mlwa.2021.100164.

BMBF (HRSG.): Bekanntmachung der Richtlinie zur Förderung von Forschung zur „Elektronik und Softwareentwicklungsmethoden für die Digitalisierung der Automobilität (MANNHEIM)“, Bundesanzeiger vom 09.11.2021. <https://www.bmbf.de/SharedDocs/Bekanntmachungen/DE/2021/11/2021-11-09-Bekanntmachung-MANNHEIM.html?view=renderNewsletterHtml> (Link zuletzt geprüft: 02.03.2025)

BRATZEL, S.: [Whitepaper] Automotive Cyber Security. Whitepaper. Eine Studie in Kooperation mit Cisco Systems. Version 1.01, 20.12.2023. Center of Automotive Management, Bergisch Gladbach 2023. https://autoforschung.de/download/Automotive-Cyber-Security_Studie_Cisco_v1.01.pdf (Link zuletzt geprüft: 24.02.2025)

BROY, M.; KRÜGER, I. H.; PRETSCHNER, A.; SALZMANN, C.: Engineering Automotive Software. In: Proceedings of the IEEE 95(2020)2, S. 356 – 373. DOI: 10.1109/JPROC.2006.888386.

BSI BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK (HRSG.): Automatisiertes Fahren als KI-Anwendungsfeld. Robuste Künstliche Intelligenz im Bereich Automotive. Berlin o. D. https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Informationen-und-Empfehlungen/Automotive/Automatisiertes_Fahren/Automatisiertes_Fahren_node.html (Link zuletzt geprüft: 23.04.2025)

BURKACKY, O.; DEICHMANN, J.; KELLNER, M.; KEUNTJE, P.; WERRA, J.: Rewiring car electronics and software architecture for the 'Roaring 2020s'. <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/rewiring-car-electronics-and-software-architecture-for-the-roaring-2020s> (Link zuletzt geprüft: 02.03.2025)

CHEN, X.; TIU, P.; HAN, X.; CHEN, J.; WU, Y.; ZHENG, X.; ZHU, M.: Continual Learning for Adaptable Car-Following in Dynamic Traffic Environments. Arxiv.org, 17.07.2024. DOI: 10.48550/arXiv.2407.14247.

CHIAO, D.; DEICHMANN, J.; HEINEKE, K.; KELKAR, A.; KELLNER, M.; SCARINCI, E.; TOLSTINEV, D.: Autonomous vehicles moving forward: Perspectives from industry leaders. McKinsey online, 05.01.2024. <https://www.mckinsey.com/features/mckinsey-center-for-future-mobility/our-insights/autonomous-vehicles-moving-forward-perspectives-from-industry-leaders> (Link zuletzt geprüft: 28.01.2025)

DE BOER, E.; LUSE, A.; MANGLA, R.; TREHAN, K. (HRSG.): Digital collaboration for a connected manufacturing workforce. McKinsey online, 05.05.2020. <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/digital-collaboration-for-a-connected-manufacturing-workforce> (Link zuletzt geprüft: 02.03.2025)

DELOITTE (HRSG.): The Future of the Automotive Value Chain: 2025 and beyond. Deloitte, München [u. a.], März 2017. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/consumer-business/us-auto-the-future-of-the-automotive-value-chain.pdf> (Link zuletzt geprüft: 26.02.2025)

E&E EXPLORE (HRSG.): KI-gesteuerte Software-Updates fürs Auto. E&E Explore online, 13.01.2023. <https://www.industr.com/de/ki-gesteuerte-software-updates-fuers-auto-2686042> (Link zuletzt geprüft: 23.04.2025)

ERNST & YOUNG (HRSG.): Achieving successful partnerships between automotive and technology companies. Ernst & Young, London 2020. [in Bibliothek des FIR e. V. an der RWTH Aachen verfügbar]

EXPLEO (HRSG.): Wie KI die Automobilindustrie verändert. Blogbeitrag. EXPLEO online, o. D. <https://expleo.com/global/de/einblicke/blog/wie-ki-die-automobilindustrie-veraendert/> (Link zuletzt geprüft: 02.03.2025)

FECHT, N.: Die Re-Assembly Factory verspricht ein längeres Fahrzeugleben. Automobil Produktion online, 16.05.2023. <https://www.automobil-produktion.de/produktion/die-re-assembly-factory-verspricht-ein-laengeres-fahrzeugleben-39-651.html> (Link zuletzt geprüft: 03.03.2025)

FLETCHER, R.; MAHINDROO, A.; SANTHANAM, N.: Tschiesner, A.: The case for an end-to-end automotive-software platform. McKinsey online, 16.01.2016. <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-case-for-an-end-to-end-automotive-software-platform> (Link zuletzt geprüft: 28.01.2025)

FURST, S.; BECHTER, M.: AUTOSAR for Connected and Autonomous Vehicles: The AUTOSAR Adaptive Platform. In: 2016 46th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks Workshop (DSN-W). IEEE, Piscataway (NJ) 2016, S. 215 – 217.

- RUMEZ, M.; GRIMM, D.; KRIESTEN, R.; SAX, E.: An Overview of Automotive Service-Oriented Architectures and Implications for Security Countermeasures. In: IEEE Access (2020) 8, S. 221852 – 221870. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3043070.
- RUSHTON, G.; ZAKARIAN, A.; GRIGORYAN, T.: Algorithms and Software for Development of Modular Vehicle Architectures. Technical Paper, 2002-01-0140. SAE INTERNATIONAL, 03.04.2002. DOI: 10.4271/2002-01-0140.
- SAINTELEMY, F.: The Role of AI in ADAS and Autonomous Vehicles. Auto tech news online, 24.07.2024. <https://auto-tech-news.com/2024/07/24/the-role-of-ai-in-adas-and-autonomous-vehicles/> (Link zuletzt geprüft: 23.04.2025)
- SAUNDERS, K.; JAX, B.: [Pressemitteilung] IBM Studie: Fahrzeuge sollen bis 2035 softwaredefiniert und KI-gesteuert sein. IBM online, 12.12.2024. <https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/en-us/report/automotive-2035> (Link zuletzt geprüft: 23.04.2025)
- SADEK, A.; TOMA, T.: Evolution of AI for ADAS/AD Applications. Qualcomm, o. J. <https://www.qualcomm.com/content/dam/qcomm-martech/dm-assets/documents/evolution-of-ai-for-adas-ad-applications.pdf> (Link zuletzt geprüft: 23.04.2025)
- SCHLEICHER, M.: Paving the way for the „Software Defined Vehicle“. In: ELIV 2021. VDI Verlag, Düsseldorf 2021, S. 273 – 284. In Kap. 5
- SCHWABER, K.; SUTHERLAND, J.: The Scrum Guide: The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game. <https://scrumguides.org/scrum-guide.html> (Link zuletzt geprüft: 20.04.2025)
- SINGH, G.: Future of AI in Smart Energy Management of Electric Vehicles. Debutinfotech online, 04.02.2025. <https://www.debutinfotech.com/blog/role-of-ai-in-energy-management-systems> (Link zuletzt geprüft: 23.04.2025)
- SLAMA, D.; NONNENMACHER, A.; IRAWAN, T.: The Software-Defined Vehicle. A Digital-First Approach to Creating Next-Generation Experiences. O'Reilly, Sebastopol (CA) 2023.
- SME COMMUNICATIONS (Hrsg.): [Pressemitteilung] Tooling U-SME, CESMII Launch Fundamentals of Smart Manufacturing Learning Curriculum. SME online, 13.06.2023. <https://www.sme.org/aboutsme/newsroom/press-releases/2023/tooling-u-sme-cesmii-launch-fundamentals-of-smart-manufacturing-learning-curriculum/> (Link zuletzt geprüft: 02.03.2025)
- STROH, I.: Migration auf zonale E/E-Architektur läuft nur langsam an. elektroniknet online, 03.02.2023. <https://www.elektroniknet.de/automotive/migration-auf-zonale-e-e-architektur-laeuft-nur-langsam-an.201858.html> (Link zuletzt geprüft: 24.02.2025)
- TRIPP, P.: [Blogbeitrag] Why You Need a Vehicle Platform Strategy Right From the Start + Free Magna online, 30.06.2022. <https://www.magna.com/stories/inside-automotive/platform/vehicle-platform-strategy> (Link zuletzt geprüft: 24.04.2025)
- UNECE (Hrsg.): UN extends its cyber security management regulation to motorcycles and scooters. UNECE online, 26.01.2024. <https://unece.org/media/press/387828#:~:text=155%20on%20cyber%20security%20and,with%20regard%20to%20cyber%20security> (Link zuletzt geprüft: 02.03.2025)
- VAN ALSTYNE, M. W.; PARKER, G. G.; CHOUDARY, S. P.: Pipeline, Platforms, and the New Rules of Strategy. In: Harvard Business Review 94 (2016) 4, S. 54 – 60.
- VDA (Hrsg.): Digitalisierung in der Automobilindustrie: Worauf es jetzt ankommt. VDA online, 2023. <https://www.vda.de/de/themen/Automobil-Insight-2023/Digitalisierung-in-der-Automobilindustrie-> (Link zuletzt geprüft: 02.03.2025)
- WEBER, M.; RAISCH, A.: Vehicle OS: Softwareplattform und -ökosystem für alle Fahrzeugdomänen. In: ATZechnik 18 (2023) 5, S. 30 – 34.
- WEISS, N.; SCHREIECK, M.; BRANDT, L. S.; WIESCHE, M.; KRUMHAR, H.: Digitale Plattformen für Applikationen im Auto – Herausforderungen und Handlungsempfehlungen. In: Digitale Geschäftsmodelle; Bd. 2: Geschäftsmodell-Innovationen, digitale Transformation, digitale Plattformen, Internet der Dinge und Industrie 4.0. Hrsg.: S. Meinhardt; A. Pflaum. Springer Vieweg, Wiesbaden 2019, S. 97 – 117. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3043070.
- WHEELER, K.: How Toyota & NTT use AI to Create a Zero-Accident Society. Technology Magazine online, 01.11.2024. <https://technologymagazine.com/articles/how-toyota-ntt-use-ai-to-create-a-zero-accident-society> (Link zuletzt geprüft: 03.03.2025)
- XU, X.: Value Creation for Intelligent Connected Vehicles: An Industry Value-Chain Perspective. In: Digital Business Models. Driving Transformation and Innovation. Hrsg.: A. Aagaard. Springer, Cham [u. a.] 2019, S. 57 – 79. DOI: 10.1007/978-3-319-96902-2_3.
- ZERFOWSKI, D.; LOCK, A.: Functional architecture and E/E-Architecture – A challenge for the automotive industry. In: 19. Internationales Stuttgarter Symposium. Automobil- und Motorentechnik. Hrsg.: M. Bargende; H.-C. Reuss; A. Wagner; J. Wiedemann. Conference Proceedings. Springer Vieweg, Wiesbaden 2019, S. 909 – 920. DOI: 10.1007/978-3-658-25939-6.



Der erste Transformationshub, der alle Dimensionen im Wertschöpfungsprozess eines Fahrzeugs adressiert: Produktion, Vertrieb, Nutzung und Recycling. Erfahren Sie mehr zu Handlungsoptionen für digitale Geschäftsmodelle und Services. Werden Sie Teil von DiSerHub. Profitieren Sie von umfassendem Wissen, nutzen Sie Synergien, erhalten Sie effektive Lösungen, beschleunigen Sie Ihre digitale Transformation. [Navigieren Sie Richtung Zukunft.](#)

5 Partner. 5 Standorte. 1 Netzwerk.



diserhub.de