

Kommunikationsarchitekturen zur Ermöglichung der Funktionsverlagerung in vernetzten Fahrzeugen

Kai Weiß
Institut für Automatisierungstechnik
und Softwaresysteme
Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland
st186957@stud.uni-stuttgart.de

Falk Dettinger
Institut für Automatisierungstechnik
und Softwaresysteme
Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland
falk.dettinger@ias.uni-stuttgart.de

Michael Weyrich
Institut für Automatisierungstechnik
und Softwaresysteme
Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland
michael.weyrich@ias.uni-stuttgart.de

Zusammenfassung—Die fortschreitende Komplexität vernetzter Fahrzeuge stellt eine Herausforderung für deren Leistungsfähigkeit dar. Dies führt zu einem steigendem Bedarf an Rechenleistung, was wiederum Kosten und Energieverbrauch in die Höhe treibt. Vor diesem Hintergrund ist es entscheidend, verschiedene Kommunikationsarchitekturen zu untersuchen, die eine effiziente Ausführung von Funktionen in vernetzten Fahrzeugen ermöglichen. Im Mittelpunkt steht dabei die Idee, Funktionen aus dem Fahrzeug zu entfernen und durch geeignete Kommunikationsarchitekturen zu verlagern, um deren Gesamtleistung zu steigern. Dafür werden in diesem Paper verschiedene übergeordnete Use-Cases konkretisiert, die von kooperativen ADAS-Funktionen über sicherheitskritische Updates bis hin zu Dienstleistungsangeboten reichen. Durch die Betrachtung unterschiedlicher Use-Cases wird verdeutlicht, wie eine effektive Funktionsverlagerung die Gesamtleistung vernetzter Fahrzeuge verbessern kann. Mit Hilfe eines morphologischen Kastens soll daraufhin anhand bestimmter Parameter entschieden werden, welche Kommunikationsarchitekturen für den entsprechenden übergeordneten Use-Case geeignet sind.

Index Terms—Connected Vehicles, Offloading, Vehicular Cloud Computing, Vehicular Fog Computing, Vehicular Edge Computing

I. EINLEITUNG

Mit der Entwicklung von Kommunikationstechnologien und der immer wichtiger werdenden Vernetzung von intelligenten Fahrzeugen steigt der Bedarf für eine effiziente Datenübertragung und Berechnung von verschiedensten Funktionen. Darunter fällt zum Beispiel intelligente Verkehrssteuerung, autonomes Fahren sowie bild- oder videoassistierte Echtzeitnavigation. Aufgrund der begrenzt verfügbaren On-Board-Energie- und Rechenressourcen müssen diese Funktionen teilweise an entfernte Server verlagert werden, um verarbeitet zu werden. Um die oben genannten Anforderungen in Fahrzeug-Ad-hoc-Netzen (VANET) zu realisieren, können vernetzte Fahrzeuge (CV) eingesetzt werden [1].

CVs sind netzwerkverbundene Fahrzeuge, die Daten mit der Cloud und anderen netzwerkverbundenen Geräten sowie Servern austauschen [2]. CVs nutzen verschiedene Kommunikationstechnologien, die eine drahtlose Kommunikation mit dem Fahrer, anderen Fahrzeugen auf der Straße und der entsprechenden Verkehrsinfrastruktur ermöglichen.

Zwei von CVs eingesetzte Kommunikationstechnologien sind Vehicle-to-Vehicle- (V2V) und Vehicle-to-Infrastructure-Kommunikation (V2I) [2]. Durch den gemeinsamen Datenaustausch und die kollaborative Verarbeitung von Informationen ist es dank Konzepten wie dem Flottenlernen den CVs möglich, ihre Fähigkeiten zu verbessern und optimale Entscheidungen im Straßenverkehr zu treffen [9].

Eine Schwierigkeit bei der Funktionsverlagerung in CVs ist nicht nur die reine Übertragung der Aufgaben, sondern auch die präzise Bestimmung der Anforderungen einer Funktion, um in eine bestimmte Kommunikationsarchitektur verlagert zu werden. In diesem Paper werden nun die drei Kommunikationsarchitekturen Vehicular Cloud Computing, Vehicular Fog Computing und Vehicular Edge Computing vorgestellt, welche eine Funktionsverlagerung ermöglichen. Eine Gesamtdarstellung aller drei Kommunikationsarchitekturen ist dazu auf Abbildung 1 dargestellt. Nachfolgend soll zudem unter verschiedenen Parametern untersucht werden, wie eine effektive Verlagerung verschiedener Use-Cases realisiert werden kann.

II. KOMMUNIKATIONSARCHITEKTUREN

A. Vehicular Cloud Computing (VCC)

VCC ist eine Kommunikationsarchitektur, welche es ermöglicht, zwei Arten von Clouds auf isolierte oder integrierte Weise zu nutzen: der Vehicular Cloud (VC) und der traditionellen Cloud (TC). Die VC ist dabei ein Konzept, das darauf abzielt, die Rechen-, Kommunikations- und Speicherressourcen von Fahrzeugen effizient zu nutzen. In dieser Art von Cloud können jene fahrzeugbezogenen Ressourcen dynamisch koordiniert werden, um On-Demand-Services über V2V-Verbindungen ähnlich dem Cloud-Computing-Modell anzubieten.

Der Begriff TC hingegen weist auf eine Gruppe von groß angelegten zentralisierten Rechenzentren hin, die auf den Einrichtungen eines Cloud-Anbieters festgelegt sind. Durch das Zusammenspiel zwischen VC und TC kann auf diese Weise eine Funktionsverlagerung sowohl für Fahrzeuge in der Nähe als auch für Server in einem entfernten Rechenzentrum durchgeführt werden. Wenn Fahrzeuge also mehr Zugang zu Diensten, eine höhere Rechenkapazität, Speicher sowie eine

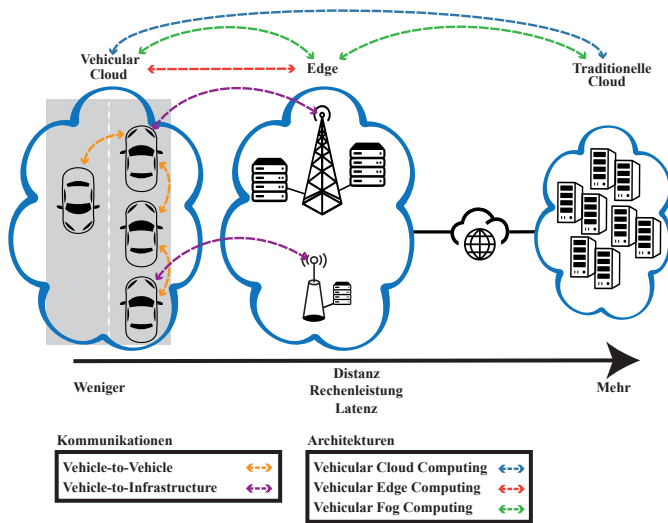


Abbildung 1. Kommunikationsarchitekturen, angelehnt an [4]

größere Serverstabilität mit geografisch festen Rechenzentren benötigen, können herkömmliche Cloud-Server verwendet werden [3].

Allerdings kann die für den Zugriff auf die TC benötigte Zeit oder Latenz sehr hoch sein und könnte für einige besonders zeitkritische Use-Cases mit extrem niedrigen Latenzanforderungen unpraktisch sein. Zusätzlich erfordert sie eine ständige Internetverbindung, was Konnektivitätsprobleme mit sich bringt [4].

B. Vehicular Edge Computing (VEC)

VEC ist eine potenzielle Lösung, welche die Probleme von VCC adressiert. Dabei interagiert die VC mit der Edge durch V2I-Verbindungen, um eine Verlagerung sowohl für Fahrzeuge in der Nähe als auch für Edge-Server zu ermöglichen.

Im Kontext von VANETs wird der Begriff „Edge“ verwendet, um eine Gruppe von Edge-Servern zu beschreiben, die in der Nähe von Straßen durch Telekommunikationsanbieter bereitgestellt werden. In VEC sind Edge-Server isolierte Rechenplattformen, die an sogenannten Road Side Units (RSU) oder Basisstationen angebunden sind. Diese Edge-Server sind von Benutzern innerhalb des Radio Access Network (RAN) verfügbar und arbeiten mit wenig oder keiner Internetverbindung [4, 7].

Durch diese Nähe zu Fahrzeugen ergeben sich Vorteile wie reduzierte Latenz, der Zugang zu größeren Rechen-, Kommunikations- und Speicherkapazitäten und einer Verbesserung der Quality of Service (QoS) für Use-Cases mit strengen zeitlichen Anforderungen [5, 6]. Jedoch sind, im Vergleich zu einer TC, die Rechenressourcen in VEC eher moderat [4].

C. Vehicular Fog Computing (VFC)

VFC bezieht sich auf die Integration zwischen VC, Edge und TC. Anstatt Rohdaten zur Verarbeitung direkt an einen Cloud-Server zu senden, sollen die Daten an die Edge übergeben werden, welche Aufgaben der Cloud, wie Analyse,

Verarbeitung, Speicherung und Kontrolle übernehmen. Der Edge-Server hat dann die Möglichkeit über das Internet die Daten an die Cloud zu senden, um eine ressourcenintensive, längerfristige Analyse durchzuführen [7, 8].

Dadurch können sowohl verzögerungsempfindliche Applikationen in der Edge, als auch rechenintensive Applikationen in der TC gleichzeitig unterstützt werden. VFC ist damit hierarchisch aufgebaut und bietet Ressourcen sowie eine nahtlose Bereitstellung herkömmlicher Cloud-Services an verschiedenen Punkten – vom Cloud-Server über den Rand des Netzwerks bis zu den Endgeräten – an. Dies steht im Gegensatz zu VEC, welches nur zur ausschließlichen Ausführung von Berechnungen am Netzwerkrand dient [4].

Damit ist VFC in der Lage, Anwendungen mit unterschiedlichen QoS-Anforderungen zu handhaben, da Anwendungen auf einer Hierarchieebene ausgeführt werden können. Somit bietet VFC eine ausreichende Verarbeitungskapazität, während es gleichzeitig Latenzanforderungen erfüllt [4, 7, 8].

III. USE-CASES

Dieser Abschnitt beschreibt alle Use-Cases, die von einer Funktionsverlagerung profitieren. Dabei werden Features hauptsächlich aus den Veröffentlichungen der 5G Automotive Association (5GAA) und dem 3rd Generation Partnership Project (3GPP) betrachtet, um sie in übergeordnete Use-Cases zusammenzufassen [14, 15]. Durch eine Auswahl bestimmter Parameter, angelehnt an [10–12], wird durch einen morphologischen Kasten entschieden welche Kommunikationsarchitekturen für den entsprechenden übergeordneten Use-Case geeignet sind. Jeder Parameter besitzt dabei Ausprägungen, durch deren Kombination mögliche Lösungen ermittelt werden können. Die vorliegende Tabelle I stellt das Ergebnis jener Use-Cases dar.

A. Übergeordnete Use-Cases

1) *Lokale ADAS-Funktionen:* Dies bezieht sich auf Funktionen, die lokal im Fahrzeug arbeiten und hauptsächlich auf Sensordaten und Informationen innerhalb des Fahrzeugs basieren. Beispiele hierfür sind Spurhalte-, Notbrems- und Totwinkelassistenten und Abstandsregeltempomate.

2) *Kooperative ADAS-Funktionen:* Bei kooperativen ADAS-Funktionen kommunizieren Fahrzeuge untereinander, um Informationen auszutauschen und kollektiv sicherere und effizientere Fahrentscheidungen zu treffen. Hierfür sind Beispiele kooperative Wahrnehmung, Navigation, Verkehrsflussoptimierung und Kollisionsvermeidung.

3) *Vernetzte ADAS-Funktionen:* Vernetzte ADAS-Funktionen ermöglichen die Analyse großer Datenmengen und die Bereitstellung von Echtzeitinformationen für CVs auf der Straße. Dies kann zum Beispiel für Echtzeit-Verkehrsmanagement und Wetterinformationen genutzt werden.

4) *Temporäre Komfort-Funktionen:* Bezieht sich auf Funktionen, die nur in einem begrenzten Zeitraum aktiviert sind und möglicherweise situationsabhängig oder benutzerinitiiert aktiviert werden. Beispiele hierfür können die Bedienung eines Infotainment-Systems oder eine Smart Home Integration sein.

Tabelle I
USE-CASE-ERGEBNISSE DURCH ANWENDUNG DES MORPHOLOGISCHEN KASTENS

Übergeordnete Use-Cases	Parameter							Ergebnis Architektur
	Sicherheit	Verfügbarkeit	Echtzeitfähigkeit	Übertragungsrate	Datendurchsatz	Vorteil durch Flottenlernen	Kommunikation	
Lokale ADAS-Funktionen	C	> 99,999%	10 - 80 ms	1 - 10 Hz	< 30 Mbps	Ja	4G	VEC
Kooperative ADAS-Funktionen	D	> 99,999%	< 10 ms	> 10 Hz	> 1000 Mbps	Ja	5G	VFC
Vernetzte ADAS-Funktionen	D	> 99,999%	< 10 ms	> 10 Hz	> 1000 Mbps	Ja	5G	VFC
Temporäre Komfort-Funktionen	QM	95 - 99,999%	> 80 ms	1 - 10 Hz	30 - 1000 Mbps	Nein	WLAN / 4G	VCC
Persistente Komfort-Funktionen	QM	90 - 95%	> 80 ms	1 - 10 Hz	30 - 1000 Mbps	Nein	WLAN / 4G	VCC
Temporäre Energie-Funktionen	A	95 - 99,999%	> 80 ms	1 - 10 Hz	< 30 Mbps	Ja	4G	VEC
Persistente Energie-Funktionen	A	90 - 95%	> 80 ms	1 - 10 Hz	30 - 1000 Mbps	Ja	WLAN / 4G	VCC
Unkritische Update-Funktionen	QM	95 - 99,999%	> 80 ms	< 1 Hz	30 - 1000 Mbps	Nein	WLAN / 4G	VCC
Kritische Update-Funktionen	D	> 99,999%	< 5 ms	> 10 Hz	30 - 1000 Mbps	Nein	5G	VFC
Unkritische Diagnose-Funktionen	A	95 - 99,999%	> 80 ms	< 1 Hz	< 30 Mbps	Nein	WLAN / 4G	VCC
Kritische Diagnose-Funktionen	D	> 99,999%	< 10 ms	> 10 Hz	< 30 Mbps	Nein	5G	VEC
Dienstleistung-Funktionen	QM	95 - 99,999%	> 80 ms	1 - 10 Hz	30 - 1000 Mbps	Nein	WLAN / 4G	VCC
Exterior-Funktionen	B	> 99,999%	10 - 80 ms	1 - 10 Hz	< 30 Mbps	Ja	4G	VEC

5) *Persistente Komfort-Funktionen*: Persistente Komfort-Funktionen sind dauerhaft aktiviert und oft auf Grundlage von Benutzerpräferenzen personalisiert. Beispiele hierfür kann die Personalisierung von Fahrprofilen, Sitz- und Klimaeinstellungen oder eine Gesundheitsüberwachung sein.

6) *Temporäre Energie-Funktionen*: Temporäre Energie-Funktionen sind solche, die vorübergehend aktiviert werden und auf spezifische Situationen oder Anforderungen abzielen. Beispiele hierfür sind eine kurzfristige effiziente Routenplanung oder eine gezielte Energieeffizienzoptimierung.

7) *Persistente Energie-Funktionen*: Persistente Energie-Funktionen sind fortlaufend aktiviert und darauf ausgerichtet, die Energieeffizienz und Nachhaltigkeit des Fahrzeugs über einen längeren Zeitraum zu verbessern. Hierbei sind Funktionen wie langfristige Analysen zur Energieeffizienzoptimierung gemeint.

8) *Unkritische Update-Funktionen*: Unkritische Update-Funktionen beziehen sich auf Software-Aktualisierungen, die nicht direkt die Sicherheit oder den unmittelbaren Betrieb des Fahrzeugs betreffen. Diese Updates können Systemoptimierungen, Karten- und Navigationsupdates oder Benutzeroberflächenupdates umfassen.

9) *Kritische Update-Funktionen*: Kritische Update-Funktionen sind solche, die eine direkte Auswirkung auf die Sicherheit, Leistung oder Zuverlässigkeit des Fahrzeugs haben. Dies können Updates für Fahrerassistenzsysteme oder Fehlerbehebungen für sicherheitskritische Funktionen sein.

10) *Unkritische Diagnose-Funktionen*: Unkritische Diagnose-Funktionen beziehen sich auf Diagnosefunktionen, die nicht direkt sicherheitsrelevant sind und nicht den unmittelbaren Betrieb des Fahrzeugs beeinträchtigen. Dies umfasst beispielsweise die Überwachung und Benachrichtigung von regelmäßigen Inspektionen.

11) *Kritische Diagnose-Funktionen*: Kritische Diagnose-Funktionen hingegen betreffen sicherheitskritische Aspekte des Fahrzeugs und haben direkte Auswirkungen auf die Fahrzeugsicherheit und Leistung. Diese Funktionen überwachen und diagnostizieren sicherheitsrelevante Systeme wie zum Beispiel Lenkungs-, Antriebs- oder Fahrzeugsteuerungssysteme.

12) *Dienstleistung-Funktionen*: Bezieht sich auf eine breite Palette von Services, welche von externen Plattformen, Dienstleistern oder Cloud-Infrastrukturen bereitgestellt werden. Sie

beinhalten zum Beispiel Kundenportale, oder Finanztransaktionen.

13) *Exterior-Funktionen*: Bezieht sich auf Funktionen, die neben ADAS mit der Umgebung außerhalb des Fahrzeugs via Sensoren interagieren. Eine Beispielfunktion dafür ist Visible Light Communication.

B. Parameter

1) *Sicherheit*: Um den Grad der Sicherheit zu bewerten, wird der Automotive Safety Integrity Level (ASIL) verwendet. Basierend auf dem Standard ISO 26262, ist ASIL eine Klassifizierungsmethode zur Bewertung und Einstufung der Sicherheitsintegrität von Elektronik und Software in Fahrzeugen. Dies wird in den Klassen QM (Qualitätsmanagement reicht aus), A, B, C und D (höchstes Risikopotenzial) bewertet [13].

2) *Verfügbarkeit*: Verfügbarkeit bezieht sich darauf, wie entscheidend es ist, dass Dienste und Systeme kontinuierlich und zuverlässig zur Verfügung stehen. Sie wird in Prozent ausgedrückt, um die Wahrscheinlichkeit zu quantifizieren, dass Use-Cases ohne Ausfall funktionieren.

3) *Echtzeitfähigkeit*: Hierbei ist gemeint, dass Funktionen zeitlich präzise und deterministisch agieren müssen, um die Sicherheit und Wirksamkeit zu gewährleisten. Durch eine Festlegung einer maximalen Latenz in Millisekunden wird bestimmt, wie lange es dauert, bis auf eine Anfrage reagiert werden soll.

4) *Übertragungsrate*: In CVs wird die Übertragungsrate in Hertz gemessen und gibt an, wie oft Daten von einer Quelle zu einem Ziel pro Sekunde übertragen werden können.

5) *Datendurchsatz*: Datendurchsatz beschreibt die Menge an Daten, die innerhalb einer bestimmten Zeitspanne über die Kommunikationsarchitektur übertragen wird. Dabei wird der Spitzenbedarf in Megabit pro Sekunde betrachtet, der bei einem Downlink- oder Uplink-Durchsatz entstehen kann.

6) *Vorteil durch Flottenlernen*: Damit ist gemeint, ob sich ein Mehrwert daraus ergibt, dass Fahrzeugflotten kollektiv Informationen sammeln und daraus lernen können.

7) *Kommunikation*: Dies umfasst WLAN, eine drahtlose Internetverbindung in einem begrenzten Bereich, 4G, eine drahtlose Mobilfunktechnologie mit schnellen Datenübertragungsraten und 5G, welches, im Gegensatz zu 4G, niedrigere Latenzzeiten und eine höhere Kapazität für die Vernetzung von Geräten bietet.

C. Morphologischer Kasten

Anhand des Features Echtzeit-Verkehrsmanagement soll beispielhaft der Entscheidungsprozess durch den morphologischen Kasten vorgestellt werden. Dabei beschreibt [8] den Begriff „Echtzeit-Verkehrsmanagement“ als ein System zur Verkehrssteuerung, welches ein lokales und globales Verkehrsmanagement umfasst. Lokal werden Ampelschaltungen basierend auf Daten von CVs angepasst, während global komplexe Algorithmen auf Cloud-Servern Verkehrslichter optimieren und dynamische Routenplanung für Fahrzeuge ermöglichen. Ergebnisse einer solchen Analyse sollen dann als Feedback an CVs zurück verteilt werden.

Um nun eine geeignete Kommunikationsarchitektur auszuwählen, muss das Feature zunächst in einen übergeordneten Use-Case eingeordnet werden. Aufgrund der Vielfalt der Informationsquellen wird dieses Feature als eine vernetzte ADAS-Funktion klassifiziert. Nun kann der morphologische Kasten eingesetzt werden, um die Ausprägungen der Parameter zu bestimmen.

Vernetzte ADAS-Funktionen werden von CVs eingesetzt, welche in der Lage sein müssen, Daten zu sammeln, zu verarbeiten und in bestimmten Situationen autonom Entscheidungen zu treffen. Aufgrund des Potenzials für lebensbedrohliche Situationen bei Fehlfunktionen wird das ASIL deshalb mit D bewertet. Vernetzte ADAS-Funktionen betonen zudem die Notwendigkeit einer effizienten Datenverarbeitung in Echtzeit um auf Verkehrsereignisse reagieren zu können. Dies deutet darauf hin, dass eine hohe Verfügbarkeit von über 99,999% erforderlich ist, um solche Dienste kontinuierlich bereitzustellen. Da bei vernetzten ADAS-Funktionen auch eine schnelle Entscheidungsfindung für Features wie Spurwechsel im automatisierten Fahrmodus benötigt wird, muss laut 5GAA eine maximale Latenzzeit von 10 ms erreicht werden [16]. Unter dieser Kondition kann die Anforderung an einer Echtzeitreaktion erfüllt werden. Angesichts der großen Menge an Daten, die von CVs generiert werden, und der Notwendigkeit, diese Daten effizient zu verarbeiten, würde eine hohe Übertragungsrate von über 10 Hz sicherstellen, dass Daten schnell und ohne Verzögerungen übertragen werden können. In vernetzten ADAS-Funktionen müssen jene Datenmengen zudem gleichzeitig aus der VC und einer Cloud-Infrastruktur verarbeitet werden, um fundierte Entscheidungen zu treffen. Der Datendurchsatz kann daher auf über 1000 Mbps geschätzt werden. Außerdem können potenzielle Daten aus einer Flotte für diesen Use-Case von Vorteil sein. Aufgrund der niedrig gewählten Latenzzeit müssen für die Kommunikation 5G-Netzwerke verwendet werden, um den Anforderungen zu genügen. Insgesamt fällt die Entscheidung, durch die gewählten Ausprägungen der Parameter, auf VFC.

D. Zusammenhänge

Dank der Tabelle I lassen sich einige Zusammenhänge bei der Auswahl der Kommunikationsarchitektur erkennen. Persistente Funktionen mit moderatem Datendurchsatz und eher niedrigerem Bedarf an Sicherheit und Verfügbarkeit eignen sich besonders für VCC. Diese Funktionen erfordern

in der Regel umfangreiche Datenanalysen. VCC bietet die erforderliche Skalierbarkeit und Rechenleistung, um diese Datenverarbeitungsaufgaben effektiv zu bewältigen und die Leistung der vernetzten Fahrzeugsysteme zu optimieren. Auch Dienstleistungs-, temporäre Komfort- und unkritische Update- und Diagnose-Funktionen, die keinen Bedarf an Echtzeit haben und nur eine eher niedrige bis moderate Übertragungsrate erfordern, profitieren durch VCC.

Ein weiterer Zusammenhang besteht in der hohen Priorisierung von Verfügbarkeit, Übertragungsrate und niedriger Latenz bei ADAS- und sicherheitskritischen Funktionen. Wenn der Datendurchsatz moderat oder niedrig ist, ist VEC die bevorzugte Option. Durch die lokale Verarbeitung der Daten an der Edge können diese Anforderungen effektiv erfüllt werden, während gleichzeitig die Kosten und die Netzwerkbelastung reduziert werden.

Wenn bei denselben Anforderungen wiederum ein hoher Datendurchsatz erforderlich ist, ist VFC die geeignete Lösung. In diesem Zusammenhang ist 5G von entscheidender Bedeutung und muss stets bei übergeordneten Use-Cases, die eine Echtzeitreaktion erfordern, verwendet werden. Dadurch wird eine zuverlässige und schnelle Kommunikation zwischen den Fahrzeugen, der Edge-Infrastruktur und der Cloud garantiert. Ist die maximale Latenz nicht hoch priorisiert, kann auch 4G oder WLAN verwendet werden.

IV. STAKEHOLDER-ANALYSE

In diesem Paper wurde behandelt, welche Kommunikationsarchitekturen sich für unterschiedliche Use-Cases eignen, um unter Berücksichtigung verschiedener Parameter eine Funktionsverlagerung ermöglichen. Im Anschluss soll auf dieser Grundlage ein Geschäftsmodell konzipiert werden. Dafür wird in diesem Abschnitt zunächst eine Stakeholder-Analyse durchgeführt. Für diesen Zweck wird eine Matrix, siehe Abbildung 2, verwendet, die potenzielle Stakeholder anhand ihrer Interessen und ihres Einflusses auf die Produktentwicklung unterteilt.

Im Fokus der Stakeholder-Analyse stehen die Partizipativ-Stakeholder, repräsentiert durch Automobilhersteller, Softwareunternehmen, Telekommunikationsanbieter, Forschungsorganisationen und Standardisierungsorganisationen. Diese Akteure zeichnen sich durch ein hohes Interesse und erhebliches

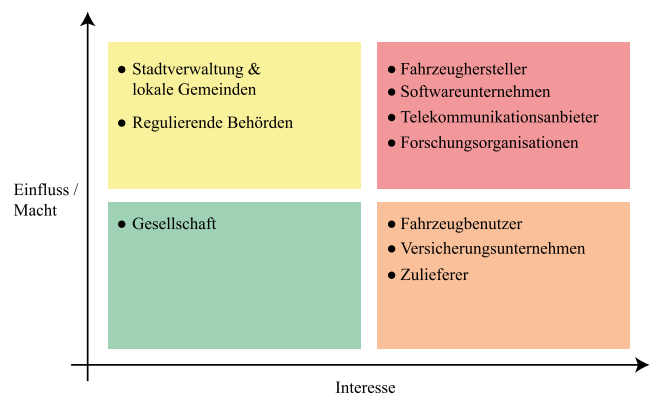


Abbildung 2. Stakeholder-Analyse

Einflusspotential aus. Insbesondere stehen Automobilhersteller an vorderster Front bei der Entwicklung und Implementierung von Kommunikationsarchitekturen. Sie sind nicht nur dafür verantwortlich, Fahrzeuge zu produzieren, sondern auch technologische Innovationen voranzutreiben. Bei der Schaffung digitaler Plattformen zur Unterstützung dieser Architekturen spielen zudem Softwareunternehmen eine entscheidende Rolle. Für die Bereitstellung der erforderlichen Infrastruktur sind Telekommunikationsanbieter zentral, während Forschungsorganisationen maßgeblich zur kontinuierlichen Weiterentwicklung und Optimierung beitragen. Standardisierungsorganisationen spielen eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung und Festlegung von branchenweiten Normen, welche die Interoperabilität und Vereinheitlichung gewährleisten. Die enge Einbindung dieser Partizipativ-Stakeholder ist entscheidend, um sicherzustellen, dass entwickelte Kommunikationsarchitekturen den Anforderungen der Industrie gerecht werden und gleichzeitig zukünftige Innovationen unterstützen.

Eine andere Art von Stakeholdern sind Restriktiv-Stakeholder, zu denen regulierende Behörden und Telekommunikationsanbieter gehören. Obwohl diese Stakeholder ein hohes Einflusspotential aufweisen, liegt ihr Interesse an den technischen Details der Kommunikationsarchitekturen für CVs tendenziell auf einem geringeren Niveau. Regulierende Behörden sind verantwortlich für die Festlegung von Standards, Vorschriften und Gesetzen, welche die Nutzung solcher Technologien reglementieren. Auch Telekommunikationsanbieter können gleichzeitig auch als Restriktiv-Stakeholder betrachtet werden, da ihre direkte Einbindung in den Entwicklungsprozess oft vorerst passiver Natur ist. Ihr Interesse an einer effektiven Verlagerungsstrategie steigt mit dem zunehmenden Nutzen und der Integration neuer Technologien. Es ist daher entscheidend, diese Restriktiv-Stakeholder aktiv einzubeziehen, um die regulatorischen Anforderungen zu erfüllen und gleichzeitig eine aktivere Einbindung zu fördern.

Diskursiv-Stakeholder hingegen, bestehend aus Fahrzeugbenutzern, Versicherungsunternehmen und Zulieferern, zeichnen sich durch ein hohes Interesse aus, weisen jedoch geringen direkten Einfluss auf die Entwicklung der Kommunikationsar-

chitekturen auf. Dabei sind Fahrzeugbenutzer von essenzieller Bedeutung, da ihre Zufriedenheit und Sicherheit maßgeblich von den implementierten Technologien abhängen. Versicherungsunternehmen interessieren sich stark für die Auswirkungen auf Unfallraten und Versicherungsprämien, während Zulieferer ihre Produkte anpassen müssen, um den neuen Anforderungen gerecht zu werden. Trotz begrenzten direkten Einfluss sind ihre Perspektiven entscheidend, da Nutzerbedürfnisse, Versicherungsanforderungen und Zuliefereranpassungen gleichermaßen berücksichtigt werden sollten.

Die Repressiv-Stakeholder, hier vertreten durch die Gesellschaft, zeigen geringes Interesse und haben einen begrenzten direkten Einfluss auf die technischen Aspekte der Kommunikationsarchitekturen für CVs. Eine fortlaufende Einbindung der Gesellschaft in den Diskurs über die Technologie bleibt relevant, um sicherzustellen, dass die Implementierung im Einklang mit ethischen Werten steht und mögliche Konflikte vermieden werden können.

V. VALUE-PROPOSITION

In diesem Abschnitt soll mithilfe des Value Proposition Canvas ein potenzielles Produkt für einen bestimmten Stakeholder abgeleitet werden. Da dieses Paper auf Kommunikationsarchitekturen für CVs ausgelegt ist, ist im Folgendem der Systemarchitekt eines Automobilherstellers, konkret von der Firma Bosch GmbH, ein zentraler Stakeholder. Der Systemarchitekt ist dabei für die Gestaltung und Entwicklung der Gesamtsystemarchitektur von Fahrzeugen verantwortlich.

Die rechte Seite des VPC (siehe Abbildung 3) bildet die Customer Seite und besteht aus den Customer Jobs, den Pains sowie den Gains, die der Systemarchitekt besitzt. Die Customer Jobs des Systemarchitekten beinhalten die fortlaufende Entwicklung fortschrittlicher CVs, die Integration neuer Technologien in bestehende Modelle und die effiziente Gestaltung von Kommunikationsarchitekturen, um eine sichere Funktionsverlagerung zu gewährleisten. Dies erfordert eine kontinuierliche Anpassung an Technologietrends, nahtlose Integration von Innovationen und eine Sicherstellung der Leistungsfähigkeit für CVs. Die Pains, also die Schmerzpunkte des

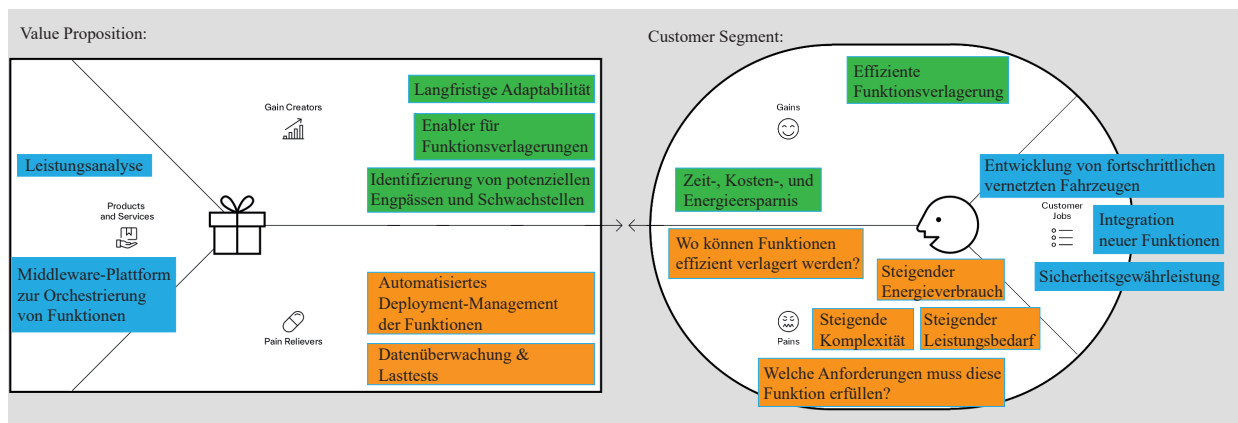


Abbildung 3. Value Proposition Canvas für einen Fahrzeughersteller

Systemarchitekten, spiegeln die Herausforderungen wider. So stellt sich bei der Entwicklung der Fahrfunktionen die Frage, wo welche Funktionen effizient verlagert werden können und welche Anforderungen dafür erfüllt werden müssen. Diese Fragen sind essenziell, da eine unüberlegte Funktionsverlagerung schnell zu einer Steigerung in Komplexität, Leistung und Energieverbrauch führt. Mit den Gains ist der Nutzen, den sich der Stakeholder von dem Produkt erhofft, gemeint. Dies ist beim Automobilhersteller zentral die Garantie einer effizienten Funktionsverlagerung. Dadurch entsteht eine Zeiterparnis, da Entwicklungsprozesse optimiert werden können. Kostenersparnisse ergeben sich durch die Standardisierung von Prozessen und die Reduzierung von Entwicklungs- und Integrationskosten. Darüber hinaus trägt die Optimierung der Energieeffizienz dazu bei, den Energieverbrauch zu minimieren, was nicht nur ökologische Vorteile bietet, sondern ebenfalls zu einer langfristigen Kosteneinsparung führt.

Aus diesem Customer Segment lässt sich eine Value Proposition (Abbildung 3, links) entwickeln. Die Value Proposition besteht aus den Products and Services, den Pain Relievers und den Gain Creators. Das nun präsentierte Produkt ist eine Middleware-Plattform, die zur Orchestrierung von Funktionen in CVs dient. Hierbei wird automatisch die optimale Kommunikationsarchitektur für jede Funktion im Fahrzeug bestimmt, indem jene Funktionen einem übergeordneten Use-Case zugeordnet werden. Dadurch wird sichergestellt, dass auch bei der Integration von neuen Funktionen eine geeignete Kommunikationsarchitektur ausgewählt wird. Dabei übernimmt die Middleware die Entscheidung, welchem Use-Case die Funktion zugeordnet werden kann. Ein solcher Abwägungsprozess kann, wie in diesem Paper vorgestellt, durch den Einsatz eines morphologischen Kastens erfolgen. Daneben wird auch eine Leistungsanalyse anhand von Datenüberwachung und Lasttests angeboten. Dieser Service ist ein iterativer Prozess, der sicherstellt, dass die Middleware-Plattform stets optimal funktioniert und den sich wandelnden Anforderungen an CVs gerecht wird. Durch das präsentierte Produkt ergeben sich nun Pain Reliever, welchen die zuvor beschriebenen Pains lindern sollen. Das automatisierte Deployment-Management der einzelnen Funktionen in CVs soll die Frage nach der geeigneten Kommunikationsarchitektur und der Bestimmung der Anforderungen der Funktionen beantworten. Parallel soll durch Datenüberwachung Transparenz über die Systemleistung in Echtzeit gewährleistet werden, während Lasttests eine präzise Bewertung der Belastungsgrenzen ermöglichen können. Somit soll die Komplexität reduziert, die Zuverlässigkeit verbessert und die Fehleranfälligkeit minimiert werden. Dies führt zu einer reibungsloseren Integration von Funktionen. Gain Creator beschreiben, wie ein Produkt die Gains erzielt. Da sich der Systemarchitekt eine effiziente Funktionsverlagerung wünscht, ist eine Middleware-Plattform als Technologie-Enabler essenziell, um als Grundlage die Integration und Verlagerung von Funktionen zwischen verschiedenen Architekturen zu ermöglichen. Besonders neue Funktionen können durch eine Kategorisierung langfristig über den gesamten Lebenszyklus adaptiert werden. Engpässe und Schwachstellen können mit-

tels der Leistungsanalyse identifiziert werden und geben damit dem Systemarchitekt eine Absicherung, falls die erwarteten Leistungen nicht erreicht werden.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Dieses Paper befasst sich mit der Untersuchung verschiedener Kommunikationsarchitekturen wie VCC, VEC und VFC, die eine effiziente Ausführung von Funktionen in vernetzten Fahrzeugen ermöglichen. VCC ermöglicht die Nutzung von Cloud-Ressourcen in der VC und in entfernten Rechenzentren, als TC. VEC interagiert mit Edge-Servern, die in der Nähe von Straßen platziert sind, um eine effiziente Funktionsverlagerung zu ermöglichen. VFC integriert VC, Edge und TC und ermöglicht eine hierarchische Verarbeitung von Daten.

Das Paper konkretisiert verschiedene Use-Cases von CVs und soll durch eine Analyse mit Hilfe des morphologischen Kastens entscheiden, welche Kommunikationsarchitektur den Anforderungen gerecht wird. Die Auswahl der Kommunikationsarchitektur hängt von verschiedenen Parametern ab, einschließlich Sicherheit, Verfügbarkeit, Echtzeitfähigkeit, Übertragungsraten, Datendurchsatz, Vorteil durch Flottenlernen und Kommunikation.

LITERATUR

- [1] Zhou, Huan, et al. "Data offloading techniques through vehicular ad hoc networks: A survey." *IEEE Access* 6 (2018): 65250-65259.
- [2] Uhlemann, Elisabeth. "Introducing connected vehicles [connected vehicles]." *IEEE vehicular technology magazine* 10.1 (2015): 23-31.
- [3] Boukerche, Azzedine, and E. Robson. "Vehicular cloud computing: Architectures, applications, and mobility." *Computer networks* 135 (2018): 171-189.
- [4] De Souza, Alisson Barbosa, et al. "Computation offloading for vehicular environments: A survey." *IEEE Access* 8 (2020): 198214-198243.
- [5] Meneguetto, Rodolfo, et al. "Vehicular edge computing: Architecture, resource management, security, and challenges." *ACM Computing Surveys (CSUR)* 55.1 (2021): 1-46.
- [6] Guo, Hongzhi, et al. "Intelligent task offloading in vehicular edge computing networks." *IEEE Wireless Communications* 27.4 (2020): 126-132.
- [7] Yusefipour, Ashkan, et al. "All one needs to know about fog computing and related edge computing paradigms: A complete survey." *Journal of Systems Architecture* 98 (2019): 289-330.
- [8] Huang, Cheng, et al. "Vehicular fog computing: architecture, use case, and security and forensic challenges." *IEEE Communications Magazine* 55.11 (2017): 105-111.
- [9] Redmer, Adam. "Strategic vehicle fleet management—a joint solution of make-or-buy, composition and replacement problems." *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 28.2 (2022): 327-349.
- [10] Khan, Manzoor Ahmed, et al. "Level-5 autonomous driving—are we there yet? A review of research literature." *ACM Computing Surveys (CSUR)* 55.2 (2022): 1-38.
- [11] Le, Thien Thi Thanh, and Sangman Moh. "Comprehensive survey of radio resource allocation schemes for 5G V2X communications." *IEEE Access* 9 (2021): 123117-123133.
- [12] Cinque, Elena, et al. "V2x communication technologies and service requirements for connected and autonomous driving." 2020 *AEIT AUTOMOTIVE*. IEEE, 2020.
- [13] Wilhelm, Ulf, et al. "Funktionale Sicherheit und ISO 26262." *Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (2015): 85-103.
- [14] 3GPP. 3rd generation partnership project. <https://www.3gpp.org/about-3gpp>. (Stand 21.02.2024).
- [15] 5GAA. 5G Automotive Association. <https://5gaa.org/about-us/>. (Stand 21.02.2024).
- [16] 5GAA. C-V2X Use Cases and Service Level Requirements Volume I. 5GAA, 2020.