

# Schlussbericht gem. Nr. 8.1 NKBF 98 bzw. BNBest-BMBF98

Zuwendungsempfänger:

**Vodafone Group Services GmbH**

Förderkennzeichen:

**19S22004L**

Vorhabenbezeichnung:

## **Verbundvorhaben GAIA-X 4 AGEDA**

### **Anforderungen und Anwendung von GAIA-X im Edge-Device Automobil**

Ein Projekt der GAIA-X 4 Future Mobility Projektfamilie

Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMW

Laufzeit des Vorhabens:

**01.10.2022 – 31.12.2025**

Berichtszeitraum:

**Schlussbericht – 01.10.2022 bis 31.12.2025**

Erstellt am:

**25.02.2026**

## Inhalt

I.	Kurze Darstellung zu.....	3
1.	Aufgabenstellung .....	3
2.	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde, .....	3
3.	Planung und Ablauf des Vorhabens .....	3
4.	Dem wissenschaftlichen und technischen Stand .....	3
5.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	4
II.	Eingehende Darstellung .....	5
1.	der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele .....	5
	AP 1.1 Ausgestaltung der Anwendungsfälle .....	5
	AP 1.2 Technische Grundlagen.....	11
	AP 1.3 Demonstrator-Implementierung.....	12
	AP 1.4 Verifikation und Validierung .....	15
	AP 2.1 Software- und Hardware-Architektur und AGEDA Komponenten.....	16
	AP 2.3 Dynamische Rekonfiguration .....	23
	AP 3.1 Entwicklung.....	27
	AP 3.2 Betrieb.....	28
	AP 4.1 Projektkoordination .....	29
	AP 4.2 und 4.3 Vernetzung sowie Ergebnisverbreitung und -verwertung.....	29
2.	der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises,.....	30
3.	der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit, .....	31
4.	des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans, .....	35
5.	es während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen,.....	36
6.	der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr.11.....	37

## I. Kurze Darstellung zu

### 1. Aufgabenstellung

Das Projekt GAIA-X 4 AGEDA verfolgt das Ziel, eine zukunftsfähige Software-Architektur für Fahrzeuge als Edge-Devices zu entwickeln, die die Prinzipien der GAIA-X-Initiative integriert. Diese Architektur soll den sicheren und souveränen Austausch von Daten sowie die dynamische Anpassung von Fahrzeugfunktionen über den gesamten Lebenszyklus ermöglichen.

Im Fokus stehen datengetriebene Anwendungen, die sowohl fahrzeugintern als auch in Verbindung mit Cloud- und Edge-Diensten Mehrwerte schaffen - insbesondere für sicherheitskritische Funktionen und neue Mobilitätsdienste. Durch diese Verknüpfung von Daten sowohl außerhalb, als auch innerhalb des Fahrzeugs kann ein erheblicher Mehrwert geschaffen werden. Edge-Systeme die sich durch effiziente Kommunikation zwischen Geräten und Cloudkomponenten definieren müssen hierzu in die Fahrzeugplattform integriert werden. Dies soll auch nach dem Verkauf des Fahrzeugs ermöglicht werden und sowohl Nachhaltigkeit als auch Wertschöpfung verbessern. Zudem leistet das Projekt einen Beitrag zur Mobilitätswende und zur Sicherung der europäischen Datensouveränität. Auf der Grundlage von GAIA-X-Prinzipien kann hier Vertrauen in ein System gebracht werden, in dem viele Akteure Daten miteinander austauschen müssen und kritische Systemkomponenten angepasst werden.

### 2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde,

Das GAIA-X 4 AGEDA Projekt startete in der letzten Runde des Förderprogramms GAIA-X 4 Future Mobility und hatte daher Ambitionen an die Zwischenergebnisse der Schwesterprojekte und an den aktuellen Stand der GAIA-X-Definition anzuknüpfen. Zudem war die Fähigkeit der Softwareanpassung in aktuellen Fahrzeugen beschränkt. Fahrzeugsoftware wird in der Regel für spezifische Modelle gebaut und im Anschluss nur für Fehlerbehebung angepasst. Dies liegt auch daran, dass der Hersteller an neuen Funktionen in verkauften Fahrzeugen keinen Umsatz generieren kann. Hier ist der Ansatz des Projektes auch Drittanbietersoftware unter bestimmten Bedingungen einbringen zu können von großem Mehrwert.

### 3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Verbundprojekt GAIA-X 4 AGEDA startete in der letzten Runde der GAIA-X 4 Future Mobility Initiative und hatte eine ursprüngliche Laufzeit vom 1.10.2022 bis 30.09.2025, wurde jedoch bis zum 31.12.2025 verlängert. Das Vorgaben war in verschiedene Arbeitspakete (APs) unterteilt, zu denen Vodafone gemäß dem Projektantrag Beiträge leistete. Die Steuerung des Gesamtvorhabens wurde in wöchentlichen Projektabsprachen koordiniert, während die einzelnen Teilprojekte jeweils eigene regelmäßige Jour Fixes abhielten. Der gesamte Ablauf des Projektes wurde in drei Zyklen durchgeführt, bei welchen jeweils eine Demonstration am Ende des Projektjahres stand.

### 4. Dem wissenschaftlichen und technischen Stand

Die im Projekt GAIA-X 4 AGEDA erarbeiteten Konzepte und technischen Entwicklungen basieren maßgeblich auf den fortschreitenden Spezifikationen der GAIA-X-Initiative. Mit dem Tagus Release (ab 2022) lag erstmals ein konsolidiertes Fundament für die technische und organisatorische Architektur von GAIA-X vor. Dieses Release definiert zentrale Bausteine wie föderierte Identitäten, Self-Descriptions, das GAIA-X-Trust Framework sowie grundlegende Policy-Regel-n und Federation Services. Diese Grundlagen schaffen die interoperable Basis, auf der vertrauenswürdige föderierte Daten und Service-Ökosysteme entstehen können.

Aufbauend darauf stellt das Loire Release (ab 2024) eine wesentliche Weiterentwicklung dar. Es präzisiert Compliance und Policy-Regelwerke, harmonisiert Schnittstellen und stärkt die Interoperabilität zwischen Datenräumen und Föderationen. Zudem konkretisiert es Governance, Zertifizierungs- und

Automatisierungsmechanismen, wodurch GAIA-X in Richtung produktiver, realer Ökosysteme weiter reift.

Diese beiden Releases bilden die zentrale fachliche und technische Grundlage für die Ausarbeitung im Projekt GAIA-X 4 AGEDA. Die dort definierten Konzepte, Mechanismen und Referenzarchitekturen wurden im Projekt weitergedacht, adaptiert und im automobilen Edge-Kontext angewendet, um eine zukunftsfähige, souveräne und erweiterbare Fahrzeugarchitektur zu ermöglichen.

Zusätzlich fanden folgende Standards und Referenzen Anwendung:

- **International Data Spaces Referenzarchitekturmodell** für Datensouveränität und föderierte Datenräume.
- **W3C Verifiable Credentials und Decentralized Identifiers** für vertrauenswürdige digitale Identitäten in verteilten Systemen.
- **OAuth 2.0 und OpenID Connect** als etablierte Standards zur Authentifizierung und Autorisierung.
- **OCI-Containerspezifikationen** für Cloud-Edge-Workload-Management.

Zur Erstellung der fachlichen Grundlagen sowie zur Orientierung an etablierten Konzepten wurden folgende Fachquellen herangezogen:

- **Gaia-X Hub Germany Whitepaper**, insbesondere zur Definition von Dataspaces, Governancestrukturen und Vertrauensmodellen.
- **OpenID Foundation Whitepaper** zu der Erweiterung des OpenID Connect Standards zum Ausstellen und Präsentieren von Verifiable Credentials.

Für die technische Umsetzung, Softwareentwicklung sowie Dokumentation kamen etablierte Informations-, Kollaborations- und Dokumentationsdienste zum Einsatz, darunter:

- **JIRA** für Planung und Nachverfolgung der Aufgaben im agilen Projektmanagement.
- **Confluence** für Erstellung und Pflege technischer Dokumentation.
- **Gitea** für Versionsverwaltung, Code-Reviews und Integration der Softwareartefakte.
- **Artifactory** als zentrales Repository für Build-Artefakte, Container und weitere Softwarepakete.

Diese Werkzeuge ermöglichten eine konsistente, nachvollziehbare und kollaborative Durchführung des Projekts sowie die strukturierte Ablage aller relevanten technischen Informationen.

## 5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.

Über den Verlauf des Projektes kam es durch die regelmäßige Absprache über die Inhalte der Teilprojekte zu viel Austausch zwischen den Projektpartnern, die durch bilaterale Gespräche ergänzt wurden. Zudem nahm Vodafone an den GAIA-X 4 Future Mobility Gesamtprojekttreffen teil und nutzte den Austausch mit anderen Partnern und mit den parallellaufenden Schwesterprojekten intensiv. An den GAIA-X 4 AGEDA spezifischen Projekttreffen wurde aktiv teilgenommen, sowie bei der Erstellung und Durchführung der Projekt Demonstrationen. Der Austausch mit dem breiteren GAIA-X Projekt wurde ebenfalls gesucht, um an den Neusten Entwicklungen der Initiative und aktuellen Änderungen dabei zu sein.

## II. Eingehende Darstellung

### 1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

#### AP 1.1 Ausgestaltung der Anwendungsfälle

Im Rahmen des Projekts konnte die Vodafone Group Services GmbH signifikante Ergebnisse im Arbeitspaket 1.1 „Ausgestaltung der Anwendungsfälle“ erzielen. Im Fokus stand dabei die fortlaufende Weiterentwicklung und Konkretisierung des Use Cases „Collective Vision & Control“ (CVC) für den Bereich Road Safety, insbesondere zur Verbesserung der Verkehrssicherheit für Fahrradfahrer und Fußgängern im Kontext von abbiegenden Fahrzeugen. Die konkrete Implementierung der hier definierten Use Cases ist Gegenstand von Arbeitspaket 1.3 „Demonstrator-Implementierung“. Durch die Definition und Ausarbeitung von drei Fernsteuerungs-Stufen im CVC Use-Case wurde eine klare Systematik zur schrittweisen Umsetzung der kollektiven Verkehrsüberwachung und -steuerung geschaffen. Aufbauend auf dem Entwicklungsstand von Level 1 konnten die Story Lines für Level 2 und 3 detailliert entwickelt und an die Anforderungen des Projekts angepasst werden. Die Rollen aller beteiligten Akteure sowie die daraus resultierenden Anforderungen an das Traffic Awareness System wurden umfassend analysiert und dokumentiert. Dies trug maßgeblich dazu bei, die technische und funktionale Grundlage für eine effektive Cloud-basierte Verkehrsüberwachung zu schaffen.

Die Vodafone Group Services GmbH hat im Rahmen des Arbeitspakets die Beschreibung der Szenarien maßgeblich vorangetrieben und die Arbeitspaketleitung in ihren Aufgaben unterstützt. In Abbildung 1 sind exemplarisch zwei Phasen des Szenarios für CVC Use-Case Level 2 dargestellt. In dem Szenario tauschen mehrere Verkehrsteilnehmer (Fahrzeuge, ungeschützte Verkehrsteilnehmer und Dienste) Informationen über ihre Umgebung GAIA-X-konform aus. Auf Basis eines gemeinsamen Lagebilds werden Benachrichtigungen für die Verkehrsteilnehmer generiert, sodass sie kritische Situationen vermeiden können, selbst wenn sie die notwendigen Informationen nicht eigenständig erfassen. Im Unterschied zu höheren CVC Leveln erfolgt keine automatische Steuerung des Fahrzeugs.

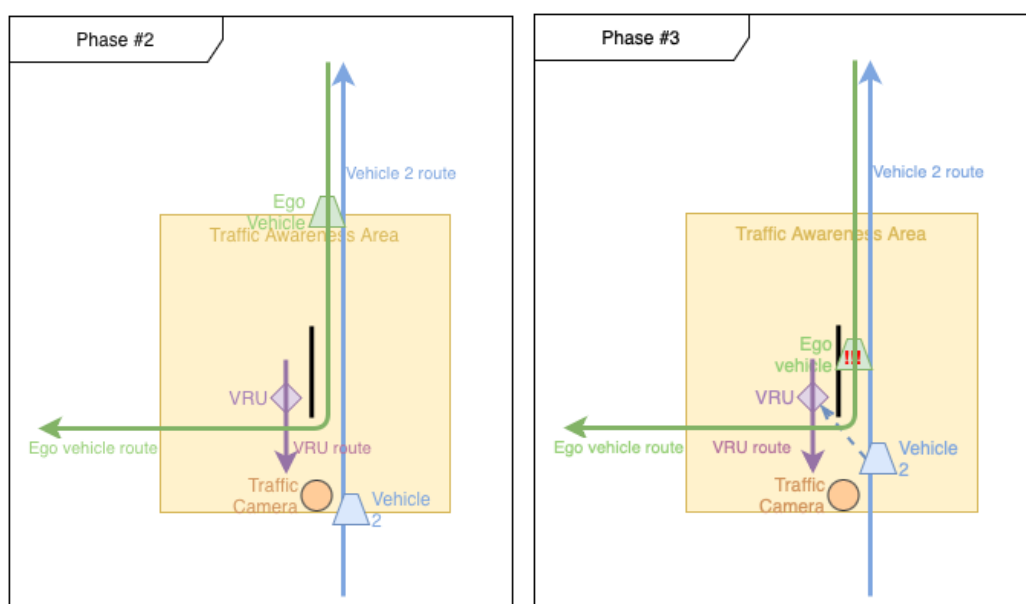


Abbildung 1 – Exemplarische Darstellung zweiter Phasen des Use Case Szenarios im CVC Level 2.

Die Rollen aller beteiligten Akteure sowie die daraus resultierenden Anforderungen an das Traffic Awareness System wurden umfassend analysiert und dokumentiert. Abbildung 2 zeigt eine tabellarische Übersicht der Akteure.

Actor	Description	Status
TASys Operator	This actor operates the TASys (TA edge & cloud services).	APPROVED
Ego Driver	Ego Driver is the human operator of ego vehicle.	APPROVED
Ego Vehicle	Ego Vehicle is a car that is capable to consume cloud based services.	APPROVED
Driver 2	Driver 2 is the human operator of vehicle 2. Driver 2 wants to provide detected object data to the cloud.	APPROVED
Vehicle 2	Vehicle 2 is a car that is capable to consume cloud based services. Vehicle 2 is capable to publish CPMs. Vehicle 2 provides detected object data (CPM) to the cloud.	APPROVED
Traffic Camera Operator	Operator that wants to offer Traffic camera data.	APPROVED
Smart City Data Provider	Exemplary data source providing information about dangerous spots (peril points) in certain areas.	APPROVED
OEM	An automotive OEM that wants to ensure that automotive quality standards are enforced and only OEM approved service offerings reach the OEM vehicles.	APPROVED

Abbildung 2 – Tabellarische Übersicht der Akteure.

Im Rahmen des CVC Use Cases im GAIA-X 4 AGEDA Projekt spielt die Traffic Awareness Area (TAA)-Map eine zentrale Rolle für die cloudbasierte Verkehrsüberwachung und -steuerung. Die TAA-Map dient als konzeptionelles Werkzeug, um die Umgebungssituation verschiedener Verkehrsteilnehmer – darunter Fahrzeuge, ungeschützte Verkehrsteilnehmer wie Fahrradfahrer und Fußgänger sowie relevante Dienste – GAIA-X-konform zu erfassen und zu visualisieren. Durch die Aggregation und Auswertung von Sensordaten entsteht ein gemeinsames Lagebild, das es ermöglicht, kritische Situationen frühzeitig zu erkennen und entsprechende Benachrichtigungen an die Verkehrsteilnehmer zu generieren. Der Scoring-Mechanismus innerhalb der TAA Map bewertet dabei die Relevanz und Dringlichkeit von Ereignissen, sodass insbesondere schwächere Verkehrsteilnehmer besser geschützt werden können. Die TAA Map bildet somit die technische und funktionale Grundlage für die Umsetzung der verschiedenen Steuerungsstufen im CVC Use Case und ist ein zentrales Element für die Verbesserung der Verkehrssicherheit im Projektkontext. Abbildung 3 zeigt die schematische Darstellung der TAA mit einer angedeuteten TAA Map.

Die TAA Map basiert auf einem gekachelten Kartenmodell, bei dem jede Kachel einen spezifischen Gefahrenwert (Score) erhält. Dieser Gefahrenwert wird mithilfe eines Scoring Algorithmus berechnet, der sowohl historische als auch aktuelle Datenquellen berücksichtigt. Zu den genutzten Daten zählen beispielsweise Unfallstatistiken, Verkehrsflussdaten, Wetterinformationen sowie Echtzeitdaten von Sensoren und vernetzten Verkehrsteilnehmern.

Der Algorithmus analysiert für jede Kachel die relevanten Parameter und gewichtet diese nach ihrer Bedeutung für das Gefahrenpotenzial. So können etwa bekannte Unfallschwerpunkte, hohe Verkehrsaufkommen, schlechte Sichtverhältnisse oder aktuelle Baustellen zu einer Erhöhung des Gefahrenwerts führen. Die dynamische Anpassung des Gefahrenwerts ermöglicht es, aktuelle Entwicklungen – wie plötzlich auftretende Gefahrensituationen – in Echtzeit abzubilden und die Verkehrsteilnehmer entsprechend zu warnen. Dadurch wird eine kontinuierliche und kontextabhängige Bewertung der Verkehrssicherheit im gesamten überwachten Gebiet gewährleistet.

Darüber hinaus werden die Daten unterschiedlicher Verkehrsteilnehmer – darunter Fahrzeuge, ungeschützte Verkehrsteilnehmer sowie infrastrukturbasierte Sensoren – miteinander kombiniert, sodass ein kollektives Lagebild aus heterogenen Quellen entsteht. Die GAIA-Xkonforme Vorgehensweise ermöglicht es zudem, neue Teilnehmer und Datenquellen einfach und vertrauenswürdig in das System aufzunehmen. Dadurch wächst das Lagebild und dessen Akkuratheit dynamisch mit jedem zusätzlichen Akteur und stärkt zugleich Transparenz, Interoperabilität und Vertrauensbildung innerhalb des

Datenraums.-X-konforme Vorgehensweise ermöglicht es zudem, neue Teilnehmer und Datenquellen einfach und vertrauenswürdig in das System aufzunehmen. Dadurch wächst das Lagebild und dessen Akkuratheit dynamisch mit jedem zusätzlichen Akteur und stärkt zugleich Transparenz, Interoperabilität und Vertrauensbildung innerhalb des Datenraums.

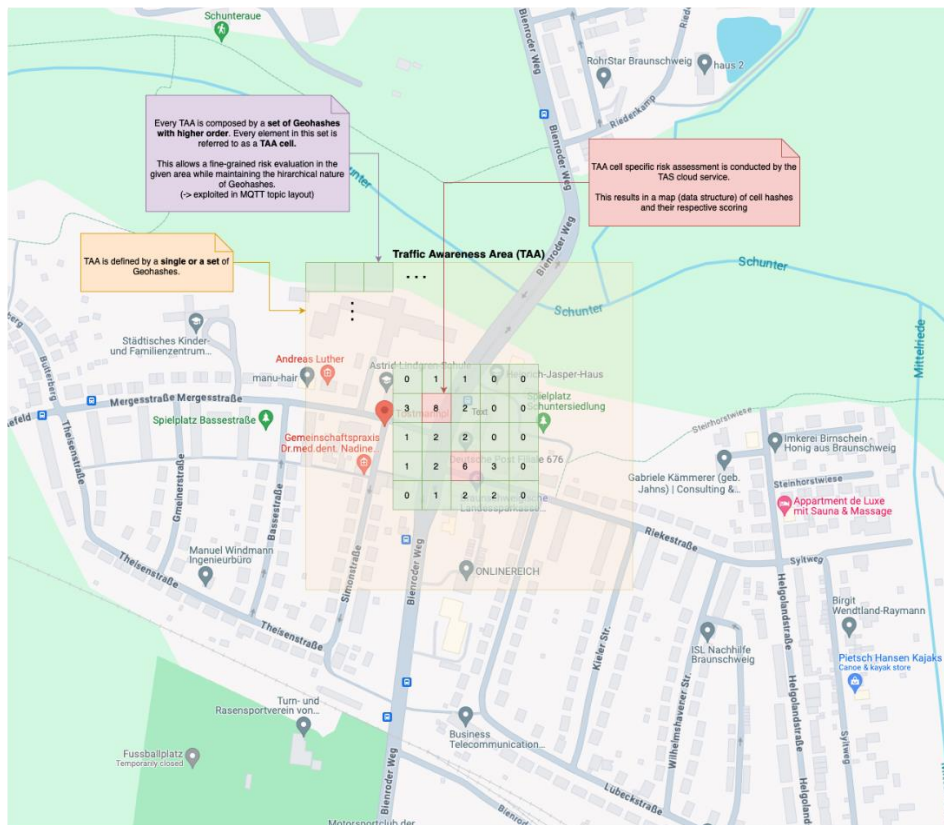


Abbildung 3 – Konzeptionelle Idee der Traffic Awareness Area und deren Scoring.

Ein wesentlicher Projekterfolg bestand in der detaillierten Ausarbeitung und dem Review der Use Cases 1 bis 3, wodurch die Qualität und Nachvollziehbarkeit der Anwendungsfälle deutlich erhöht wurde. Das strukturierte Feedback und die iterative Überprüfung haben die Grundlage für eine effiziente Weiterentwicklung weiterer Use Cases gelegt. Die verschiedenen Use Cases wurden in strukturierter tabellarischer Form und mit Hilfe von Use Case Diagrammen dokumentiert. Abbildung 4 zeigt beispielhaft das Use Case Diagramm zum Erstellen eines GAIA-X Offerings.

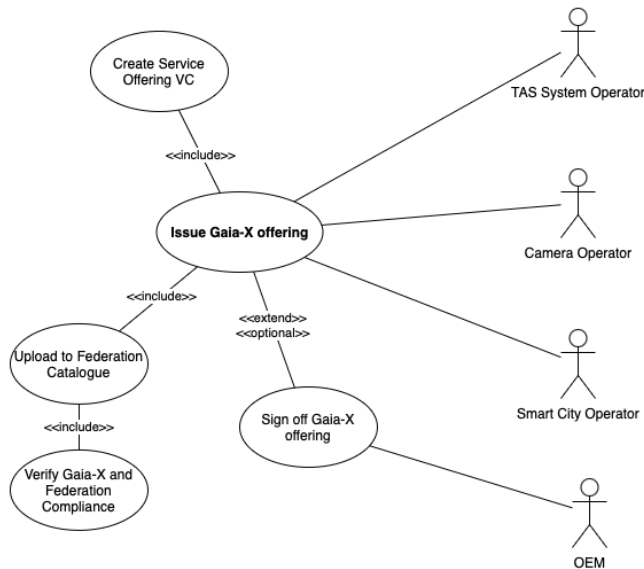


Abbildung 4 – CVC-L2-SC1-UC02 - Erstellen eines GAIA-X Service Offerings.

Die enge Verzahnung mit dem Arbeitspaket 1.3 sowie die Organisation und aktive Mitwirkung an der Entwicklung der Demo-Story-Line für die CVC Level 2 und 3 führten zu einem konsistenten und praxisnahen Demonstrationsszenario. Die Definition der audiovisuellen Inhalte und des Stils des Demovideos ermöglichten eine anschauliche Präsentation der Projektergebnisse und fördern die Akzeptanz bei zukünftigen Anwendern und Stakeholdern.

Im weiteren Projektverlauf wurde mit der Ausarbeitung des Szenarios für CVC Level 4 bereits die Grundlage für die nächste Projektphase geschaffen. Im vierten Entwicklungslevel wurde der Schwerpunkt auf die Use-Case-spezifische Ausgestaltung der GAIA-X-basierten Interaktion im Dataspace gelegt. Ziel war es, die im Arbeitspaket 2.1 entwickelten Konzepte nicht nur theoretisch zu erarbeiten, sondern sie vor allem praktisch im CVC Use Case sowie mittelbar auch im Use Case „Physical Internet“ anzuwenden und konzeptionell einzubetten. Im Zentrum der Arbeiten stand die Entwicklung und Implementierung von Service Offerings, die auf die unterschiedlichen Akteure im Datenraum zugeschnitten sind. Diese Service Offerings wurden so gestaltet, dass sie die spezifischen Anforderungen der jeweiligen Akteure – beispielsweise Fahrzeughersteller, Service Provider oder Endnutzer – abbilden und eine flexible Erweiterung der Plattform ermöglichen. Durch die Definition und Modellierung von Geschäftsbeziehungen wurde sichergestellt, dass sowohl technische als auch organisatorische Aspekte der Zusammenarbeit adressiert werden. Dies schuf die Grundlage für Vertrauen, Transparenz und Nachvollziehbarkeit in den Interaktionen zwischen den Akteuren. Abbildung 5 zeigt ein exemplarisches Service Offering zur Beschreibung eines Datendienstes.

```

1  {
2    "@context": [
3      "https://www.w3.org/ns/credentials/v2",
4      "https://w3id.org/gaia-x/development#"
5    ],
6    "id": "https://id.ageda-vf.net/services/traffic-awareness-service-demo/gx-service-offering.json",
7    "type": ["VerifiableCredential", "gx:ServiceOffering"],
8    "issuer": "did:web:id.ageda-vf.net",
9    "validFrom": "2025-09-04T07:57:31Z",
10   "credentialSubject": {
11     "id": "https://id.ageda-vf.net/services/traffic-awareness-service-demo/gx-service-offering.json#cs",
12     "schema:name": "Traffic Awareness Service",
13     "schema:description": "Description of Traffic Awareness Service",
14     "gx:providedBy": {
15       "id": "https://id.ageda-vf.net/participant/gx-legal-person.json#cs"
16     },
17     "gx:serviceOfferingTermsAndConditions": [
18       {
19         "@type": "gx:TermsAndConditions",
20         "gx:url": {
21           "@type": "xsd:anyURI",
22           "@value": "https://id.ageda-vf.net/services/traffic-awareness-service-demo/gx-service-offering-tac.json"
23         },
24         "gx:hash": "39f96b41663c81024b204c633bffa36824902dea8b3be5130af2c9c98c92904"
25       }
26     ]
27   },
28   ...
29 }

```

Abbildung 5 – Exemplarisches Service Offering Verifiable Credential basierend auf dem GAIA-X Loire Release.

Ein weiterer zentraler Aspekt war die Formulierung sequenzieller Abläufe (siehe Abbildung 6), die die Interaktion der Akteure im Datenraum strukturieren. Diese Abläufe umfassen sämtliche Schritte von der Angebotserstellung über die Vertragsverhandlung bis hin zur tatsächlichen Nutzung der Services. Durch die klare Strukturierung und Automatisierung dieser Prozesse konnte eine effiziente, sichere und nachvollziehbare Zusammenarbeit im GAIA-X-Dataspace realisiert werden. Die entwickelten Konzepte wurden im Use Case „Collective Vision & Control“ praktisch angewendet, wobei die Verbesserung der Verkehrssicherheit durch cloudbasierte, kollektive Verkehrsüberwachung und -steuerung im Vordergrund stand. Die Integration der GAIA-X-Prinzipien ermöglichte es, verschiedene Verkehrsteilnehmer und Dienste datenschutzkonform und interoperabel zu vernetzen. Die Service Offerings und Geschäftsbeziehungen wurden genutzt, um die Interaktion zwischen Fahrzeugen, ungeschützten Verkehrsteilnehmern und Cloud-Diensten zu orchestrieren und ein gemeinsames Lagebild zu erzeugen.

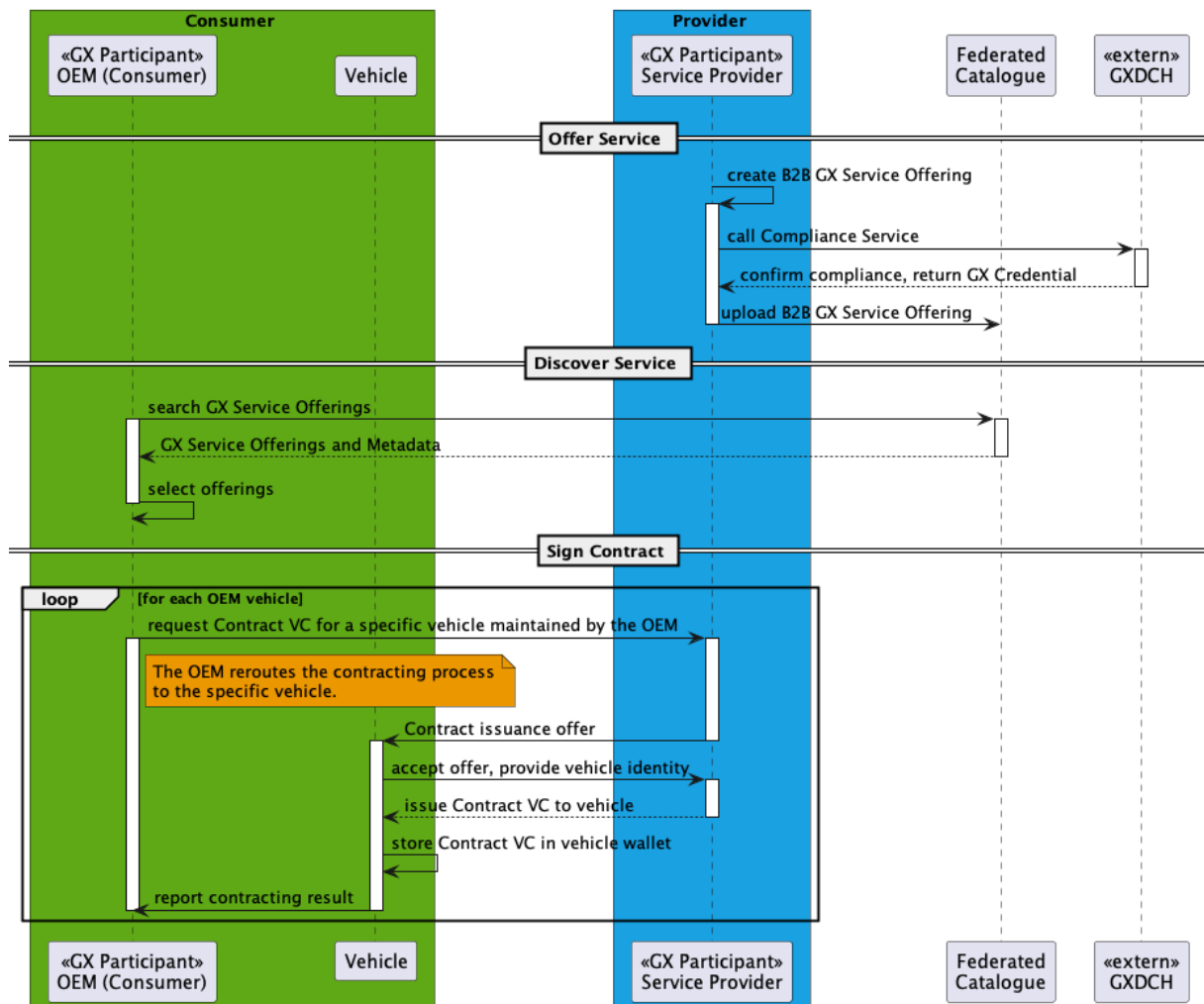


Abbildung 6 – Sequenzieller Ablauf zur Angebotserstellung, Angebots-Discovery und Vertragsschluss.

Auch im Use Case „Physical Internet“ fanden die entwickelten Ansätze Anwendung. Hier lag der Fokus auf der effizienten und sicheren Vernetzung logistischer Akteure und Systeme. Die konzeptionelle Einbettung der GAIA-X-Konzepte ermöglichte eine flexible und skalierbare Integration neuer Partner und Dienste in den Datenraum. Die Übertragbarkeit der entwickelten Methoden auf verschiedene Anwendungsbereiche wurde damit eindrucksvoll demonstriert.

Die zentralen Ergebnisse dieser Arbeiten lassen sich wie folgt zusammenfassen: Es wurden standardisierte Serviceangebote für unterschiedliche Akteure entwickelt, die eine einfache Integration und Nutzung von Diensten im GAIA-X-Dataspace ermöglichen. Die Modellierung und Definition von Geschäftsbeziehungen schufen die Grundlage für automatisierte Vertragsabschlüsse und eine vertrauensvolle Service-Nutzung. Die Formulierung und Umsetzung klarer, nachvollziehbarer Abläufe gewährleistete eine effiziente und sichere Zusammenarbeit im Datenraum. Die konzeptionelle Einbettung und Übertragung der entwickelten Konzepte auf verschiedene Use Cases, insbesondere CVC und „Physical Internet“, unterstreicht die Skalierbarkeit und Zukunftsfähigkeit der Ansätze.

Die im Rahmen von Level 4 entwickelten und implementierten Konzepte bilden ein robustes Fundament für die weitere technische Umsetzung und die nachhaltige Verwertbarkeit der Projektergebnisse. Sie ermöglichen es, zukünftige Use Cases und Partner flexibel in einen GAIA-X Dataspace zu integrieren und die Innovationskraft des Konsortiums weiter zu stärken. Die Erfahrungen und Erkenntnisse aus der praktischen Anwendung fließen in die kontinuierliche Weiterentwicklung der Plattform und der

zugrundeliegenden Standards ein. Insgesamt zeigt sich, dass die im Projekt entwickelten Lösungen einen wichtigen Beitrag zur Standardisierung, Automatisierung und Skalierbarkeit von Datenraum-basierten Interaktionen im Mobilitäts- und Logistikumfeld leisten.

Die Ergebnisse in AP 1.1 bilden somit das stabile Fundament für die weitere technische Umsetzung und die nachhaltige Verwertbarkeit der Projektergebnisse im Sinne eines fortschrittlichen, cloudbasierten Verkehrssicherheitssystems. Im Rahmen des Arbeitspakets zeigte sich zudem, dass die angestrebten Ziele in einer Weise erreicht wurden, die sowohl inhaltlich als auch methodisch konsistent zur übergeordneten Projektarchitektur beitrug. Die detaillierte Beschreibung der CVC Use Cases und „Physical Internet“ ermöglichte eine klare Strukturierung des Problemraums und trug dazu bei, die fachlichen Zielbilder präzise auszuarbeiten. Durch die enge Abstimmung mit den Projektpartnern, die Entwicklung tragfähiger User Stories sowie die Ableitung technischer Anforderungen an Mobilfunk- und Edge-Cloud Infrastrukturen entstand eine solide Grundlage für nachfolgende technische Arbeitspakete. Die iterative Weiterentwicklung der CVC Szenarien bis einschließlich Level 4 und die kontinuierliche Verzahnung mit der Demonstratorentwicklung verdeutlichen, dass die im Arbeitspaket formulierten Zielsetzungen umfassend adressiert und in ihrer Gesamtheit wirksam operationalisiert wurden. Cloud-Infrastrukturen entstand eine solide Grundlage für nachfolgende technische Arbeitspakete. Die iterative Weiterentwicklung der CVC-Szenarien bis einschließlich Level 4 und die kontinuierliche Verzahnung mit der Demonstratorentwicklung verdeutlichen, dass die im Arbeitspaket formulierten Zielsetzungen umfassend adressiert und in ihrer Gesamtheit wirksam operationalisiert wurden.

## AP 1.2 Technische Grundlagen

Im Rahmen des Arbeitspakets 1.2 leistete die Vodafone Group Services GmbH einen wesentlichen Beitrag zur technischen Fundierung des GAIA-X 4 AGEDA Projekts. Aufbauend auf den definierten Use Cases wurden insgesamt 92 technische Anforderungen erarbeitet und in zentrale Kategorien wie Orchestrierung, Echtzeitfähigkeit, Persistenz, Hardwareabstraktion, Kommunikation, GAIA-X Interaktion sowie Software Deployment überführt. Diese Struktur schuf eine belastbare Grundlage für die spätere Implementierung und Integration der AGEDA Systemarchitektur.

Darüber hinaus entstand ein klar definiertes Schnittstellenmodell bestehend aus 33 internen sowie 33 externen Anforderungen, das Interoperabilität und GAIA-X Konformität sicherstellt. Ergänzend wurden essenzielle Mechanismen für das dynamische Systemverhalten konkretisiert, darunter Over-the-Air Updates, rekonfigurierbare Workloads, Cloud Edge Shifting sowie sicherheitsrelevante Verfahren wie Silent Testing und sichere Kommunikationspfade.

Die Vodafone Group Services GmbH unterstützte diese Arbeiten durch kontinuierliche Mitwirkung in den relevanten Abstimmungs- und Arbeitsgruppen. Besonders hervorzuheben ist die Analyse GAIA-X konformer Authentifizierungsverfahren für Edge- und Cloudbasierte Dienste sowie die Evaluierung förderierter Identitätsmechanismen, die maßgeblich zur Ausrichtung der technischen Anforderungen beitrugen. Zudem wurden in den späteren Projektphasen gezielt jene Systemanforderungen eingebracht, die aus den im AP 1.1 entwickelten Use Cases abgeleitet wurden, und trug so zur Konsistenz der Gesamtarchitektur bei.

Die Vodafone Group Services GmbH legte im Arbeitspaket 1.2 ein tragfähiges technisches Fundament, das unmittelbar in die Architekturarbeiten von TP 2 einfließt. Aufbauend auf den in AP 1.1 definierten Use Cases wurden die relevanten Anforderungen und Schnittstellen systematisch erhoben und in eine konsistente technische Struktur überführt. Die erarbeiteten Konzepte – insbesondere zu Netz und Edge-Cloud Interaktionen sowie zum dynamischen Zusammenspiel zwischen Fahrzeug und Backend – zeigen, dass die Zielsetzungen des Arbeitspakets inhaltlich umfassend aufgegriffen und in die projektweite Architekturentwicklung eingebettet wurden. Edge-Cloud-Interaktionen sowie zum dynamischen

Zusammenspiel zwischen Fahrzeug und Backend – zeigen, dass die Zielsetzungen des Arbeitspakets inhaltlich umfassend aufgegriffen und in die projektweite Architekturentwicklung eingebettet wurden.

### AP 1.3 Demonstrator-Implementierung

Zu Beginn des Arbeitspakets 1.3 lag der Schwerpunkt auf der Spezifizierung der Demonstrator-Implementierung für die Use Cases „Collective Vision & Control“ (CVC) und „Physical Internet“. Bereits im ersten Projektabschnitt wurde eine detaillierte Beschreibung der Demonstrator-Implementierung für den CVC Use Case erstellt und Activity Diagramms für den CVC Use Case Level 1 entwickelt, um die Beziehungen zwischen allen Stakeholdern abzubilden. Parallel dazu erfolgte die Dokumentation der Kommunikationsflüsse der verschiedenen Funktionen für den CVC Use Case Level 1.

Im weiteren Verlauf wurde die Cloud-Infrastruktur für die Demonstrator-Umgebung aufgebaut. Hierzu zählte die Bereitstellung von 4G/5G Mobilfunkzugängen für die Projektpartner sowie die Entwicklung einer dedizierten Cloud-Umgebung auf AWS-Basis, die als Grundlage für die prototypische Entwicklung der AGEDA-Anwendungsfälle diente. Die Implementierung erfolgte nach Cloud-Native-Prinzipien und beinhaltete die Entwicklung einer minimalen Logging- und Monitoring-Infrastruktur zur Unterstützung von Entwicklung und Betrieb des Traffic Awareness Cloud Systems (TACS). Die TACS Data Plane wurde entwickelt, bereitgestellt und betrieben, inklusive der Bereitstellung von Mock Services, die eine selbstbestimmte Systemintegration der Projektpartner ermöglichten. In Kombination mit dem Traffic Awareness Edge Service (TAES) bildet TACS das vollständige Traffic Awareness System. TAES stellt hierbei die Edge-Komponente dar, die als Workload direkt auf dem Fahrzeug läuft und so eine nahtlose Integration von Fahrzeugdaten in das Gesamtsystem ermöglicht. Abbildung 7 stellt die Komponenten des Traffic Awareness Systems dar.

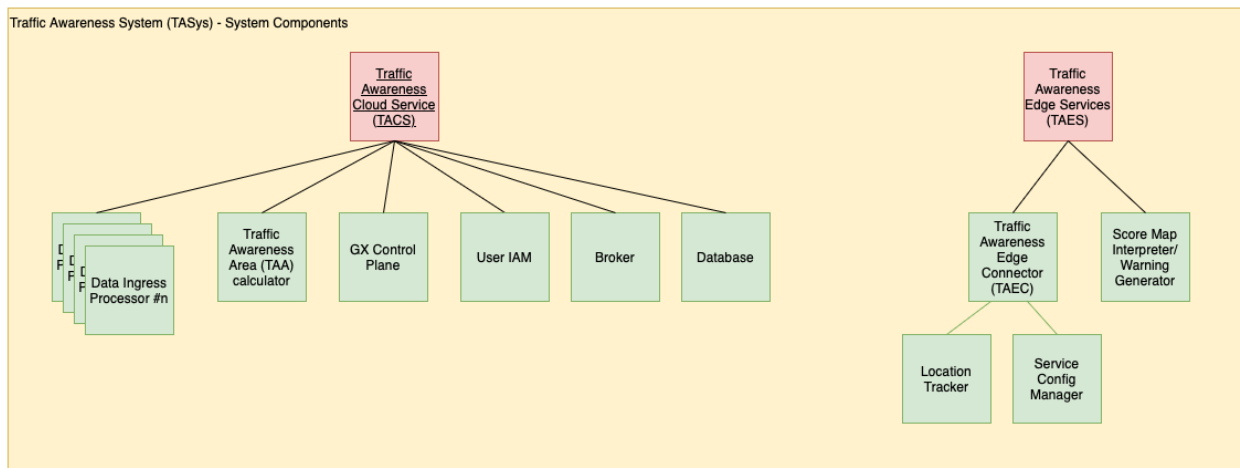


Abbildung 7 – Traffic Awareness System – Komponentendiagramm.

Das TACS bildet das zentrale Rückgrat für die Erfassung, Analyse und Verteilung von Verkehrsinformationen im Rahmen des GAIA-X 4 AGEDA Projekts. Die Architektur des TACS basiert auf modernsten Cloud-Native-Prinzipien und nutzt eine Microservice-Struktur, die eine flexible Entwicklung, Skalierung und Wartung einzelner Systemkomponenten ermöglicht. Abbildung 8 stellt eine Übersicht der Komponenten dar. Durch die konsequente Nutzung von Containern und modernen Orchestrierungslösungen kann TACS sowohl in der Cloud als auch an der Edge betrieben werden, was eine hohe Verfügbarkeit und Ausfallsicherheit gewährleistet.

Kernfunktionen des TACS umfassen die Aggregation von Sensordaten aus verschiedenen Quellen – darunter Fahrzeuge und Verkehrsinfrastruktur – sowie deren Verarbeitung in Echtzeit. Über definierte

Schnittstellen werden diese Daten an autorisierte Dienste und Partner weitergegeben. Die Integration von Message-Brokern ermöglicht eine effiziente und skalierbare Verteilung von Nachrichtenströmen innerhalb des Systems. Darüber hinaus sorgt ein zentrales Monitoring- und Logging-System für Transparenz und Nachvollziehbarkeit im laufenden Betrieb, während automatisierte Mechanismen für Authentifizierung und Autorisierung die Sicherheit und Integrität der Datenströme gewährleisten.

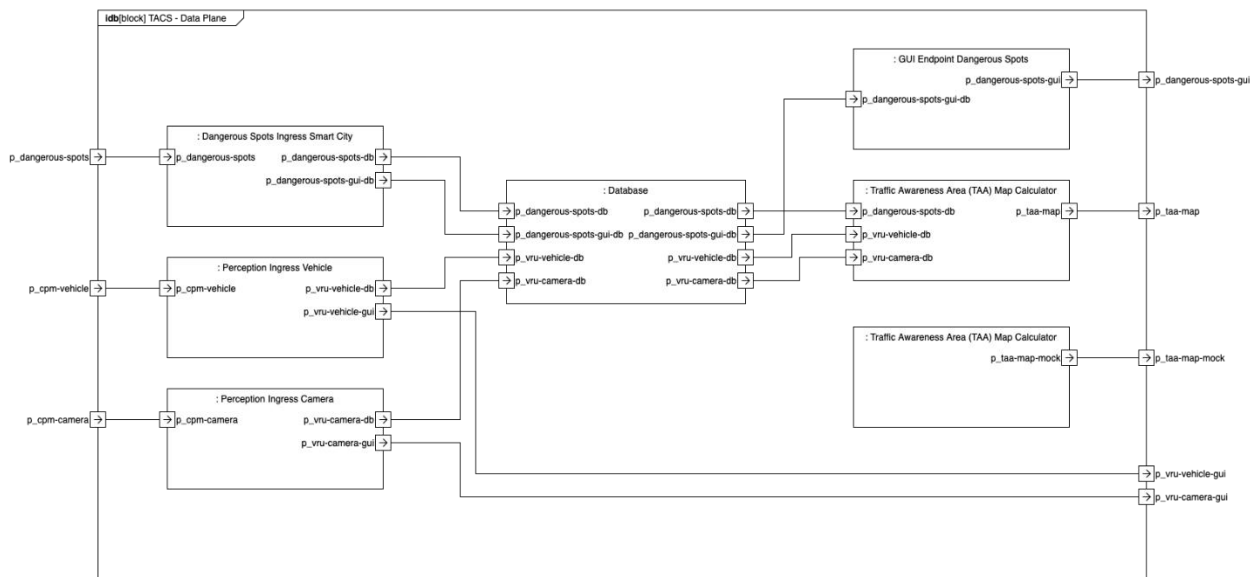


Abbildung 8 – Traffic Awareness Cloud System (TACS) Komponentendiagramm.

Die initiale Systemarchitektur wurde im Projektkonsortium abgestimmt und die Einflüsse auf weitere Arbeitspakete abgeleitet. Die TACS Microservice-Architektur wurde initial implementiert und kontinuierlich weiterentwickelt. Im Rahmen der Architekturarbeit wurde die Migration des Deployments zu einem Managed Kubernetes Service (EKS) in AWS durchgeführt, um eine skalierbare und hochverfügbare Umgebung zu gewährleisten. Die Automatisierung der Infrastruktur erfolgte durch die Entwicklung von Terraform-Skripten, die eine effiziente Bereitstellung und Verwaltung der Cloud-Ressourcen ermöglichten. Zusätzlich wurde die Message-Broker-Strategie weiterentwickelt und eine Migration von Amazon MQ zu EMQX inklusive Automatisierung umgesetzt.

Während der CVC L2/L3 Demo-Woche am DLR in Braunschweig war die Vodafone Group Services GmbH vor Ort, koordinierte die Integration der CVC-Demo-GUI mit den Partnern und unterstützte bei der Fehleranalyse und -behebung. Die Bereitstellung und Optimierung der Mobilfunkkonnektivität für die Projektpartner war ein weiterer wichtiger Beitrag zur erfolgreichen Durchführung der Demonstration.

Im dritten Projektjahr wurde der VC Manager als zentraler Dataspace Connector für das GAIA-X 4 AGEDA Projekt konzipiert, entwickelt und integriert. Die Vodafone Group Services GmbH übernahm die Konzeptionierung und Entwicklung dieses Connectors auf Basis von Open Source Komponenten, um sowohl für den CVC- als auch für den „Physical Internet“-Demonstrator eine flexible und erweiterbare Lösung bereitzustellen. Der VC Manager wurde als eigenständiges Modul in die bestehende Cloud-Infrastruktur des TACS eingebunden und ermöglichte die sichere und standardisierte Verwaltung von Verifiable Credentials (VCs).

Technisch basiert der VC Manager auf einer Microservice-Architektur (Komponentendiagramm siehe Abbildung 9), die eine modulare Erweiterung und einfache Integration in verschiedene Cloud- und Edge-Umgebungen erlaubt. Die Implementierung erfolgte in enger Abstimmung mit den Ergebnissen der GAIA-X Arbeitsgruppe im Arbeitspaket 2.1, insbesondere im Hinblick auf die Anforderungen an die Konformität und Interoperabilität im GAIA-X-Datenraum. Ein zentrales Feature des VC Managers ist die

Unterstützung für die Erzeugung und Verwaltung von GAIA-X Compliance Credentials, die über das GAIA-X Digital Clearing House ausgestellt und geprüft werden können.

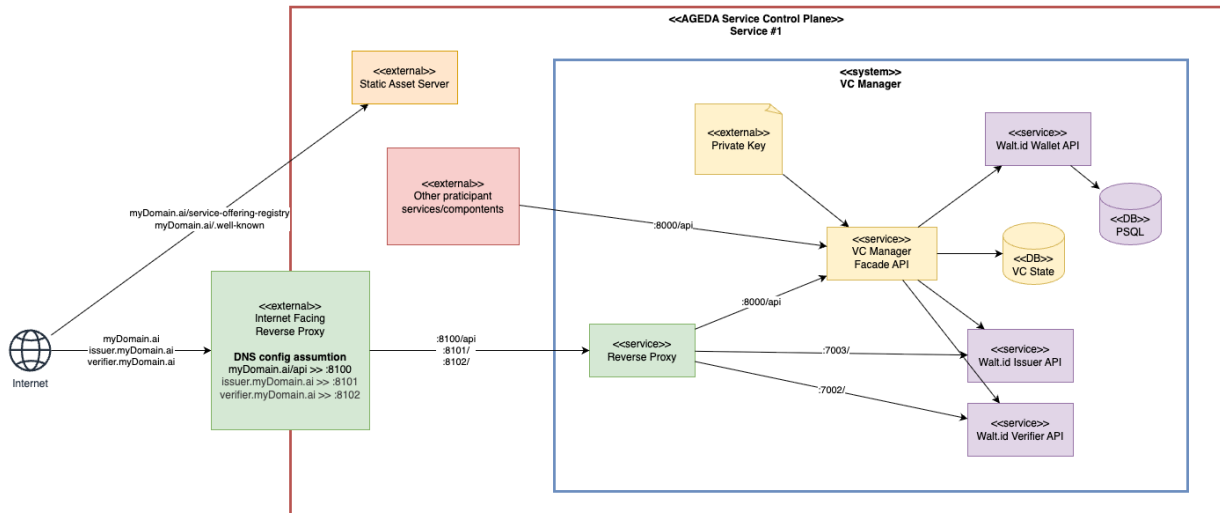


Abbildung 9 – VC Manager – Komponentendiagramm.

Die Integration des VC Managers in die TACS Cloud Infrastruktur erfolgte durch die Vodafone Group Services GmbH über standardisierte Schnittstellen und ermöglichte eine automatisierte, transparente und nachvollziehbare Authentifizierung und Autorisierung von Services und Akteuren im Datenraum. Zusätzlich wurde für die Demonstrator Umgebung ein Werkzeug, das die assistierte Erstellung GAIA-X konformer Service Offerings unterstützt und die Konformitätsprüfung unmittelbar über das GAIA-X Digital Clearing House anstößt, entwickelt. Die technische Umsetzung umfasste die Entwicklung von REST APIs für die Verwaltung von VCs, die Integration von DID:WEB Identitäten für deren Ausstellung und Präsentation sowie die Automatisierung der Credential Generierung für die geplanten Demonstrationsszenarien.

Durch die enge Verzahnung des VC Managers mit weiteren Cloud Komponenten und die konsequente Orientierung an GAIA-X Standards entstand ein zentraler Baustein für eine sichere, interoperable und skalierbare Datenraumintegration. Die gewonnenen praktischen Erfahrungen flossen kontinuierlich in die Weiterentwicklung der Plattform sowie die Optimierung relevanter Schnittstellen und Prozesse ein. Damit leistet der VC Manager einen entscheidenden Beitrag zur Standardisierung und Automatisierung datenraumbasierter Interaktionen im GAIA-X 4 AGEDA Projekt und bildet die Grundlage für die flexible Erweiterung um zukünftige Use Cases und Partner.

Im Rahmen des Arbeitspakets 1.3 trug die Vodafone Group Services GmbH zudem maßgeblich zur erfolgreichen Realisierung des Tisch Demonstrators sowie der übergeordneten Demonstrationsszenarien bei. Der produktive Einsatz des VC Managers als universeller Dataspace Connector ermöglichte identitäts- und vertrauensbasierte Interaktionen sämtlicher beteiligter Akteure. Durch die verlässliche Bereitstellung und Integration dieses Connectors entstand ein stabiler technischer Kern, auf dem sämtliche Interaktionen des Demonstrators aufbauten.

Darüber hinaus unterstützte die Vodafone Group Services GmbH die Integration des VC Managers in von Projektpartnern entwickelte Komponenten und stellte sicher, dass heterogene Systeme reibungslos zusammenarbeiteten und GAIA-X konforme Verfahren durchgängig eingehalten wurden. Ergänzend wurde die konzeptionelle Ausarbeitung und Koordination der Control Plane des Tisch Demonstrators übernommen und damit klare Strukturen für Datenflüsse und Steuerungsmechanismen geschaffen.

Neben den konzeptionellen und koordinativen Aufgaben wurden zentrale cloudbasierte Komponenten der Data Plane bereitgestellt, die für den stabilen Betrieb des Demonstrators essenziell waren. Diese Services gewährleisteten eine effiziente Verarbeitung der im Datenraum ausgetauschten Informationen. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse wurden unmittelbar in die konzeptionelle Weiterentwicklung der Control Plane für den Abschlussdemonstrator des „Collective Vision & Control“ Use Cases eingebracht.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse des Arbeitspakets 1.3, dass die Vodafone Group Services GmbH einen wesentlichen Beitrag zur technischen Funktionsfähigkeit, Interoperabilität und Demonstrationsreife der GAIA-X-basierten Lösungen im GAIA-X 4 AGEDA Projekt geleistet hat. Die entwickelten Cloud und Edge Komponenten, die Microservice Architektur sowie die Integration von Dataspace Connectoren und Automatisierungstools bilden ein belastbares Fundament für die weitere technische Umsetzung. Im Abgleich mit den im Arbeitspaket verfolgten Zielen deutet die realisierte prototypische Referenzimplementierung – einschließlich sicherer IoT Anbindung der Fahrzeuge, einer latenzoptimierten Edge-Cloud Umgebung, eines Data Brokers zur Echtzeitverteilung von V2X-Daten, einer GAIA-X-konformen Plattformarchitektur sowie eines Rekonfigurations Managers – darauf hin, dass zentrale Zielstellungen in kohärenter Weise adressiert wurden. Die Validierung der Demonstratoren unter realitätsnahen Bedingungen unterstützt diese Einschätzung und zeigt, dass die entwickelten Lösungen einen konsistenten Beitrag zur Weiterentwicklung des AGEDA Frameworks leisten. -X-basierten Lösungen im - und Edge-Komponenten, die Microservice-Architektur sowie die Integration von Dataspace-Connectoren und Automatisierungstools bilden ein belastbares Fundament für die weitere technische Umsetzung. Im Abgleich mit den im Arbeitspaket verfolgten Zielen deutet die realisierte prototypische Referenzimplementierung – einschließlich sicherer IoT-Anbindung der Fahrzeuge, einer latenzoptimierten Edge-Cloud-Umgebung, eines Data-Brokers zur Echtzeitverteilung von V2X-Daten, einer GAIA-X-konformen Plattformarchitektur sowie eines Rekonfigurations-Managers – darauf hin, dass zentrale Zielstellungen in kohärenter Weise adressiert wurden. Die Validierung der Demonstratoren unter realitätsnahen Bedingungen unterstützt diese Einschätzung und zeigt, dass die entwickelten Lösungen einen konsistenten Beitrag zur Weiterentwicklung des AGEDA-Frameworks leisten.

#### **AP 1.4 Verifikation und Validierung**

Im Arbeitspaket 1.4 unterstützte die Vodafone Group Services GmbH die Verifikation und Validierung der im Projekt entwickelten Demonstratoren, mit besonderem Fokus auf die Teilaspekte, die das Zusammenspiel von Fahrzeug, Edge-Cloud-Infrastruktur und GAIA-X-basierten Diensten betreffen. Ziel war es, die erreichten Projektergebnisse einzuordnen und auf Projektebene eine belastbare, transparente Bewertung der Zielerreichung vorzunehmen.

Die Vodafone Group Services GmbH begleitete die Validierungsarbeiten vor allem inhaltlich: durch kontinuierliche Teilnahme an fachlichen Abstimmungen, die gemeinsame Analyse der Use-Case-Umsetzung sowie die Diskussion der Testergebnisse im Konsortium. Dabei stand die Bewertung der funktionalen Konsistenz der Demonstratoren im Vordergrund, insbesondere in Bezug auf die Integration externer Datenquellen, die Einbettung von GAIA-X-Konzepten sowie die Umsetzung der definierten Anwendungsszenarien.

Ein spezifischer Beitrag bestand in der Bewertung der Konnektivitätsanforderungen aus Sicht des Mobilfunk- und Edge-Cloud-Betriebs. Hierbei konzentrierte sich die Validierung – entsprechend dem im Projekt tatsächlich realisierten Umfang – ausschließlich auf Latenz und Verfügbarkeit der Konnektivität. Diese beiden Parameter wurden im Kontext der Demonstrationsumgebungen stichprobenartig geprüft, um die grundsätzliche Funktionsfähigkeit der Datenpfade zwischen Fahrzeug, Edge-Services und Cloud zu beurteilen. Eine tiefgreifende Analyse weiterführender Netzwerkmetriken (etwa Jitter, Paketverlusten oder Lastverhalten unter variierenden Bedingungen) war hingegen nicht Bestandteil der Tätigkeit und wurde bewusst nicht durchgeführt.

Darüber hinaus leistete die Vodafone Group Services GmbH Beiträge zur Einordnung der Systemtests der Use Cases „Collective Vision & Control“ und „Physical Internet“. Durch die aktive Mitarbeit in

Review-Runden und die Bewertung der architekturellen und datenraumbezogenen Aspekte wurde die konsortiale Qualitätssicherung unterstützt. Dies umfasste vor allem die fachliche Interpretation der Testergebnisse hinsichtlich GAIA-X-Konformität, Dateninfrastruktur-Abhängigkeiten und der Integrationsreife der Gesamtsysteme.

Insgesamt trug die Vodafone Group Services GmbH in AP 1.4 mit klar abgegrenzten, inhaltlich fokussierten Beiträgen dazu bei, die Zielerreichung des Projekts auf Projektebene valide zu bewerten. Die Ergebnisse der Arbeiten zeigen, dass die im Projekt entwickelten Demonstratoren die wesentlichen fachlichen Zielsetzungen adressieren und dass die betrachteten Konnektivitätsparameter ausreichend stabil waren, um die funktionale Demonstration der Use Cases zu unterstützen. Die Validierungsbeiträge der Vodafone Group Services GmbH leisteten damit einen nachvollziehbaren und angemessenen Beitrag zur Gesamteinschätzung der technischen und fachlichen Projektergebnisse.

## AP 2.1 Software- und Hardware-Architektur und AGEDA Komponenten

Das Arbeitspaket 2.1 bildet im Gesamtprojekt GAIA-X 4 AGEDA das technische Fundament für eine sichere, skalierbare und datengetriebene Fahrzeugarchitektur. Während andere Arbeitspakete fachliche Anforderungen definieren oder konkrete Funktionen und Rekonfigurationsmechanismen entwickeln, stellt AP 2.1 jene Architektur- und Middleware-Bausteine bereit, die den Betrieb verteilter Fahrzeugfunktionen überhaupt erst ermöglichen. Die im Arbeitspaket verfolgte Zielsetzung besteht darin, die Prinzipien von GAIA-X – insbesondere Datenhoheit, föderierte Identitäten, Interoperabilität und vertrauenswürdige Dienste – auf das EdgeDevice Fahrzeug zu übertragen und damit eine moderne, serviceorientierte Grundlage für zukünftige Mobilitätssysteme zu schaffen. -X 4 AGEDA das technische Fundament für eine sichere, skalierbare und datengetriebene Fahrzeugarchitektur. Während andere Arbeitspakete fachliche Anforderungen definieren oder konkrete Funktionen und Rekonfigurationsmechanismen entwickeln, stellt AP 2.1 jene Architektur- und Middleware-Bausteine bereit, die den Betrieb verteilter Fahrzeugfunktionen überhaupt erst ermöglichen. Die im Arbeitspaket verfolgte Zielsetzung besteht darin, die Prinzipien von GAIA-X – insbesondere Datenhoheit, föderierte Identitäten, Interoperabilität und vertrauenswürdige Dienste – auf das Edge-Device Fahrzeug zu übertragen und damit eine moderne,

Obwohl in der ursprünglichen Vorhabenbeschreibung der Vodafone Group Services GmbH keine Ressourcen für das Arbeitspaket 2.1 vorgesehen waren, zeigte sich im Projektverlauf deutlich, dass eine aktive Beteiligung aus fachlicher Sicht zwingend erforderlich war. AP 2.1 bildet das technische Fundament für zentrale Architektur, Identitäts und Datenraummechanismen des gesamten AGEDA Frameworks, sodass ein Beitrag der Vodafone Group Services GmbH essenziell wurde, um die Konsistenz zu den in anderen Arbeitspaketen definierten Anforderungen sicherzustellen. -, Identitäts- und Datenraummechanismen des gesamten AGEDA-Frameworks, sodass ein Beitrag der Vodafone Group Services GmbH essenziell wurde, um die Konsistenz zu den in anderen Arbeitspaketen definierten Anforderungen sicherzustellen.

Die Beiträge gliedern sich in drei miteinander verzahnte Aufgabenbereiche, die jeweils unterschiedliche, aber komplementäre Aspekte der Gesamtarchitektur adressieren.

Der Task 2.1.5 legt die technische Basis für die Ausführung von Funktionen auf verteilten Fahrzeug- und Cloudressourcen. Hier wird die Betriebsumgebung geschaffen, in der Workloads zuverlässig bereitgestellt, orchestriert und verwaltet werden können. Dazu gehören stabile virtuelle Steuergeräte, reproduzierbare Bereitstellungsmechanismen sowie ein minimaler Servicekatalog, der eine konsistente Integrations- und Entwicklungsumgebung bildet. Diese Ausführungsplattform gewährleistet, dass Funktionen sowohl im Fahrzeugcluster als auch in hybriden Edge-Cloud-Szenarien betreibbar sind und bildet damit die grundlegende technische Infrastruktur des AGEDA-Frameworks.

Der Task 2.1.6 erweitert dieses Fundament um die Fähigkeit, externe Datenquellen vertrauenswürdig und interoperabel in die Fahrzeugarchitektur einzubinden. Moderne Mobilitätsanwendungen sind

zunehmend auf SmartCityDaten, Verkehrsflussinformationen oder infrastrukturbasierte Sensordaten angewiesen. Dieser Task schafft die methodischen und technischen Grundlagen, um solche Datenräume auszuwählen, zu integrieren und für die Use Cases nutzbar zu machen. Damit entsteht eine Brücke zwischen dem Fahrzeug und seinem urbanen Umfeld, was insbesondere use-caserelevante Funktionen wie „Collective Vision & Control“ oder das „Physical Internet“ stärkt und die Architektur konsequent im Kontext externer GAIA-X-Datenräume verankert.-City-Daten, Verkehrsflussinformationen oder infrastrukturbasierte Sensordaten angewiesen. Dieser Task schafft die methodischen und technischen Grundlagen, um solche Datenräume auszuwählen, zu integrieren und für die Use Cases nutzbar zu machen. Damit entsteht eine Brücke zwischen dem Fahrzeug und seinem urbanen Umfeld, was insbesondere use-case-relevante Funktionen wie -X-Datenräume verankert.

Der Task 2.1.7 überführt schließlich die konzeptionellen Grundlagen von GAIA-X in eine konsistente Referenzarchitektur für Fahrzeug, Edge und Cloud. Er definiert Rollen- und Datenraumkonzepte, identitäts- und vertrauensbasierte Mechanismen sowie standardisierte Abläufe für Service Offerings, Vertragsabschlüsse und Credential-basierte Autorisierung. Darüber hinaus wurden Datenräume im Hinblick auf ihre Eignung für Gaia-X 4 AGEDA untersucht und die GAIA-X Spezifikationen in konkrete technische Abläufe übersetzt. Damit wird die Architektur nicht nur funktionsfähig, sondern zugleich compliant, interoperabel und langfristig anschlussfähig an das entstehende europäische Datenökosystem.-X in eine konsistente Referenzarchitektur für Fahrzeug, Edge und Cloud. Er definiert Rollen- und Datenraumkonzepte, identitäts- und vertrauensbasierte Mechanismen sowie standardisierte Abläufe für Service Offerings, Vertragsabschlüsse und Credential-basierte Autorisierung. Darüber hinaus wurden Datenräume im Hinblick auf ihre Eignung für -X-Spezifikationen in konkrete technische Abläufe übersetzt. Damit wird die Architektur nicht nur funktionsfähig, sondern zugleich compliant, interoperabel und langfristig anschlussfähig an das entstehende europäische Datenökosystem.

Zusammengenommen ermöglichen die drei Tasks eine durchgängige, GAIA-X-konforme Systemlandschaft: Task 2.1.5 stellt die technische Ausführbarkeit sicher, Task 2.1.6 verankert die Architektur in realen Datenräumen und städtischen Kontexten, und Task 2.1.7 definiert die Vertrauens- und Governance Mechanismen, die alle Interaktionen zwischen Fahrzeug, Cloud und externen Services tragen.-X-konforme Systemlandschaft: Task 2.1.5 stellt die technische Ausführbarkeit sicher, Task 2.1.6 verankert die Architektur in realen Datenräumen und städtischen Kontexten, und Task 2.1.7 definiert die Vertrauens- und Governance-Mechanismen, die alle Interaktionen zwischen Fahrzeug, Cloud und externen Services tragen.

#### *Task 2.1.5: Ausführungsplattform*

Im Rahmen des Arbeitspakets 2.1.5 „Ausführungsplattform“ leistete die Vodafone Group Services GmbH einen wesentlichen Beitrag zur Validierung, Erprobung und Stabilisierung der technischen Grundlage für das AGEDA-Framework. Der Schwerpunkt lag darauf, eine zuverlässige Bereitstellung und einen stabilen Betrieb virtueller Steuergeräte (vECUs) sicherzustellen und zentrale Frameworkkomponenten in das Ankaio Orchestrator Umfeld zu integrieren.

Ein zentrales Ergebnis war die Validierung der Orchestrierungsprozesse, die für Bereitstellung, Wartung und Inbetriebnahme von vECUs genutzt werden. Durch den Einsatz benutzerdefinierter Amazon Machine Image basierter Umgebungen wurde sichergestellt, dass vECUs konsistent, reproduzierbar und hochverfügbar bereitgestellt werden. Diese Grundlage ermöglichte eine stabile Entwicklungs- und Testumgebung innerhalb der cloudbasierten Fahrzeugarchitektur.

Darüber hinaus führte die Vodafone Group Services GmbH umfangreiche Tests und Verifikationen der AGEDA-Framework Komponenten durch. Dabei wurden insbesondere die Deployment Abläufe im Ankaio Orchestrator untersucht, um die Robustheit und Zuverlässigkeit containerisierter Workloads abzusichern. Dies ermöglichte eine frühzeitige Identifikation potenzieller Schwachstellen und eine zielgerichtete Optimierung der Integration in die vECU-Laufzeitumgebung.

Um die Deployment Prozesse zusätzlich abzusichern, wurde ein gemockter Workload implementiert. Dieser ermöglichte realitätsnahe Tests, ohne auf komplexe oder unvollständige Komponenten anderer Partner angewiesen zu sein. Dadurch konnten Abhängigkeiten reduziert und Entwicklungszyklen beschleunigt werden.

Ein weiterer wichtiger Beitrag war die Verifikation und Validierung eines minimalen selbstgehosteten Service Katalogs auf den vECUs. Dieser Katalog bietet eine konsistente und testbare Plattform, auf der Serviceentwickler ihre Komponenten innerhalb einer realitätsnahen Edge Umgebung entwickeln, prüfen und integrieren können. Dadurch wurde die Interoperabilität im Konsortium verbessert und eine belastbare Basis für spätere Integrations- und Demonstrationsphasen geschaffen.

Insgesamt trug die Vodafone Group Services GmbH maßgeblich zur Stabilisierung der technischen Ausführungsplattform des AGEDA-Frameworks bei. Die Arbeiten erhöhten die Zuverlässigkeit orchestrierter vECU-Umgebungen und schufen eine robuste Grundlage für die Integration und Weiterentwicklung zukünftiger Services im Projektkontext.

#### *Task 2.1.6: „External Data – Smart City“*

Die Vodafone Group Services GmbH engagierte sich im Arbeitspaket 2.1.6 „External Data – Smart City“ kontinuierlich für die Weiterentwicklung und Integration externer Datenquellen zur Stärkung der GAIA-X 4 AGEDA Use Cases. Zentrale Aktivitäten umfassten die aktive Teilnahme an Abstimmungsterminen, die Mitwirkung an der Ausarbeitung des Arbeitsgruppenfokus, der Roadmap und der Integrationsstrategie für den Use Case „Collective Vision & Control“ sowie die Analyse relevanter Herausforderungen und Anwendungsfälle im Smart City-Kontext. Diese Analyse wurde gezielt durch Experteninterviews mit Vertretern der Städte Bad Hersfeld und Hamburg unterstützt. Im weiteren Verlauf wurden externe Datenquellen ausgewählt, um die Use Cases „Physical Internet“ und „Collective Vision & Control“ innerhalb der zugehörigen Arbeitspakete gezielt zu fördern. Die Unterstützung erstreckte sich zudem auf die Analyse und Integration dieser externen Datenquellen, um die Anforderungen aus den identifizierten Use Cases konsequent in die technische Umsetzung zu überführen. Insgesamt trug die Vodafone Group Services GmbH maßgeblich dazu bei, eine solide Datenbasis für die weitere Entwicklung und Skalierung von Smart City-Anwendungen im GAIA-X 4 AGEDA Projekt zu schaffen.

#### *Task 2.1.7: „GAIA-X Architecture“*

Die Vodafone Group Services GmbH hatte die Leitung der Arbeitsgruppe „GAIA-X Architecture“ inne. Diese Arbeitsgruppe bestand aus zehn spezialisierten Teams, die sich mit der Integration von GAIA-X-Konzepten in das AGEDA-Framework und die Cloud-Dienste im erweiterten Ökosystem befassten. Die Vodafone Group Services GmbH koordinierte die übergreifenden Aktivitäten dieser Teams und leitete drei zentrale Teilbereiche: „Contract Negotiation“, „Authentication and Authorization based on Contract“ sowie „E2E GX Architecture“. Darüber hinaus war sie in sieben der zehn Teams aktiv beteiligt, unter anderem in den Bereichen Datenraum-Evaluierung, Erweiterung des GAIA-X Connectors, Data Plane Realisierung und Ontologie-Erweiterung.

Ein zentrales Thema der Arbeitsgruppe war die Bewertung der Auswirkungen des GAIA-X „Loire“-Releases (Ende 2024), das signifikante Spezifikationsänderungen mit sich brachte. Diese Änderungen wurden im Hinblick auf ihre Kompatibilität mit dem AGEDA-Framework sowie auf die Use Cases „Collective Vision & Control“ und „Physical Internet“ analysiert. Methodisch wurde dabei u.a. mit System-Kontext Diagrammen gearbeitet (siehe Abbildung 10). Die daraus gewonnenen Erkenntnisse flossen direkt in die Weiterentwicklung der Systemarchitektur und der technischen Komponenten ein.

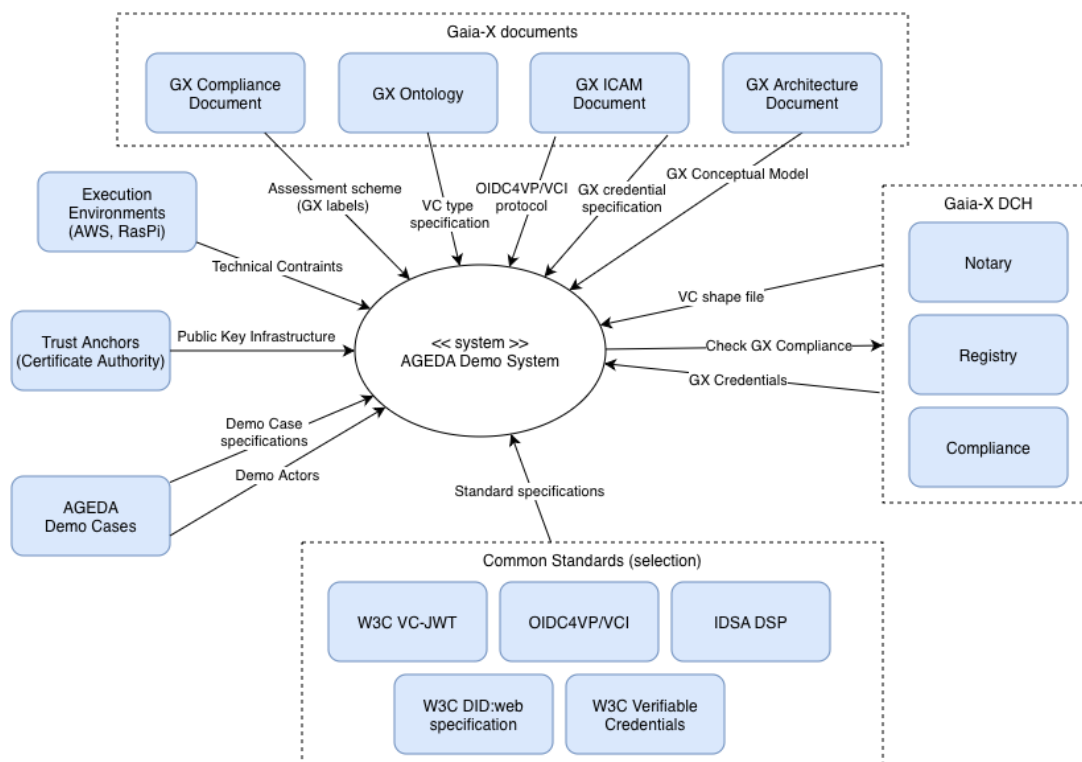


Abbildung 10 – System-Kontext Diagramm in Bezug auf GAIA-X.

Ein wesentliches Ergebnis war die umfassende Evaluierung bestehender Datenräume hinsichtlich ihrer Eignung und ihrer Konformität mit GAIA-X. Drei Datenräume – Mobility Data Space, Envited-X und DLR Dataspace – wurden detailliert untersucht. Dabei zeigte sich, dass keiner der geprüften Datenräume einen klaren Vorteil im Hinblick auf die GAIA-X-Konformität für GAIA-X 4 AGEDA bot. Diese Erkenntnis führte zur Entscheidung, keine externe Lösung direkt zu übernehmen, sondern eigene Architekturansätze zu verfolgen.

Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Entwicklung eines kombinierten Business-to-Business(B2B)- und Business-to-Customer(B2C)-Vorgehensmodells zur Realisierung GAIA-X-konformer Interaktionen zwischen Service-Anbietern, Automotive-OEMs und Endkunden. Im B2B-Bereich wurde ein Prozess definiert, bei dem Service Provider ihre Angebote im GAIA-X-Katalog veröffentlichen und über standardisierte Verträge mit OEMs zusammenarbeiten. Im B2C-Bereich wurde ein Modell entworfen, bei dem der OEM als Vermittler zwischen Serviceanbieter und Fahrzeug bzw. Endnutzer fungiert. Fahrzeuge agieren dabei als eigenständige GAIA-X-Teilnehmer unter der Verwaltung/Kontrolle des OEMs mit dezentralen Identitäten und können Verträge initiieren sowie Dienste autorisieren.

Zur Unterstützung dieser Prozesse wurden detaillierte Sequenzdiagramme erstellt. Diese Diagramme zeigen detailliert folgende Abläufe:

- Erstellen eines GAIA-X-konformen Angebots (siehe Abbildung 11).
- Vertragsabschluss zwischen OEM und Anbieter (siehe Abbildung 12).
- Service-Nutzung durch das Fahrzeug auf Basis des Vertrags (siehe Abbildung 13).



Finanziert von der Europäischen Union  
NextGenerationEU

Gefördert durch:



Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

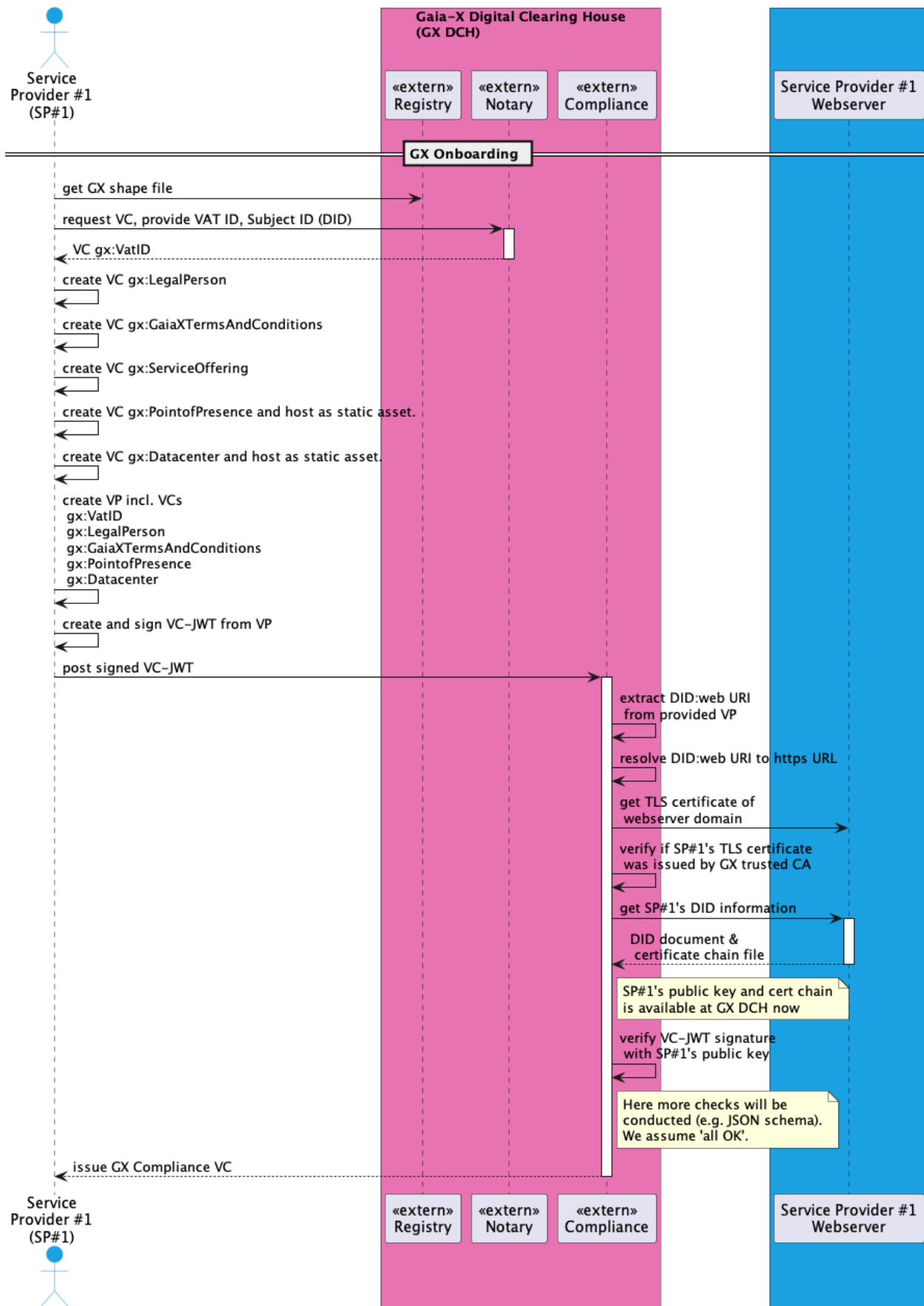


Abbildung 11 – Sequenzdiagramm zum Erstellen eines GAIA-X Service Offerings.



Finanziert von der Europäischen Union  
NextGenerationEU

Gefördert durch:



Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

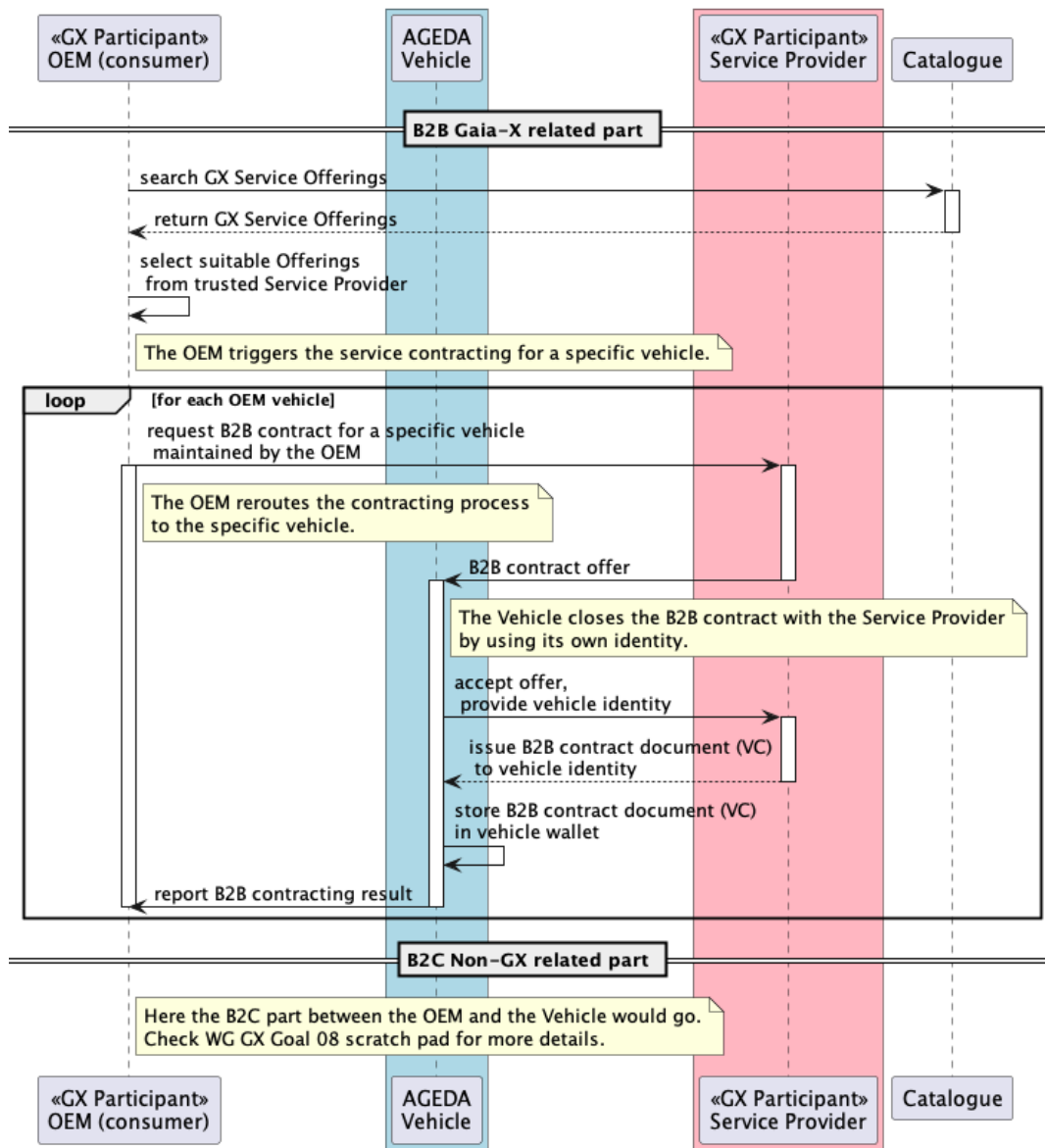


Abbildung 12 – Sequenzdiagramm zum B2B- und B2C-Contracting.

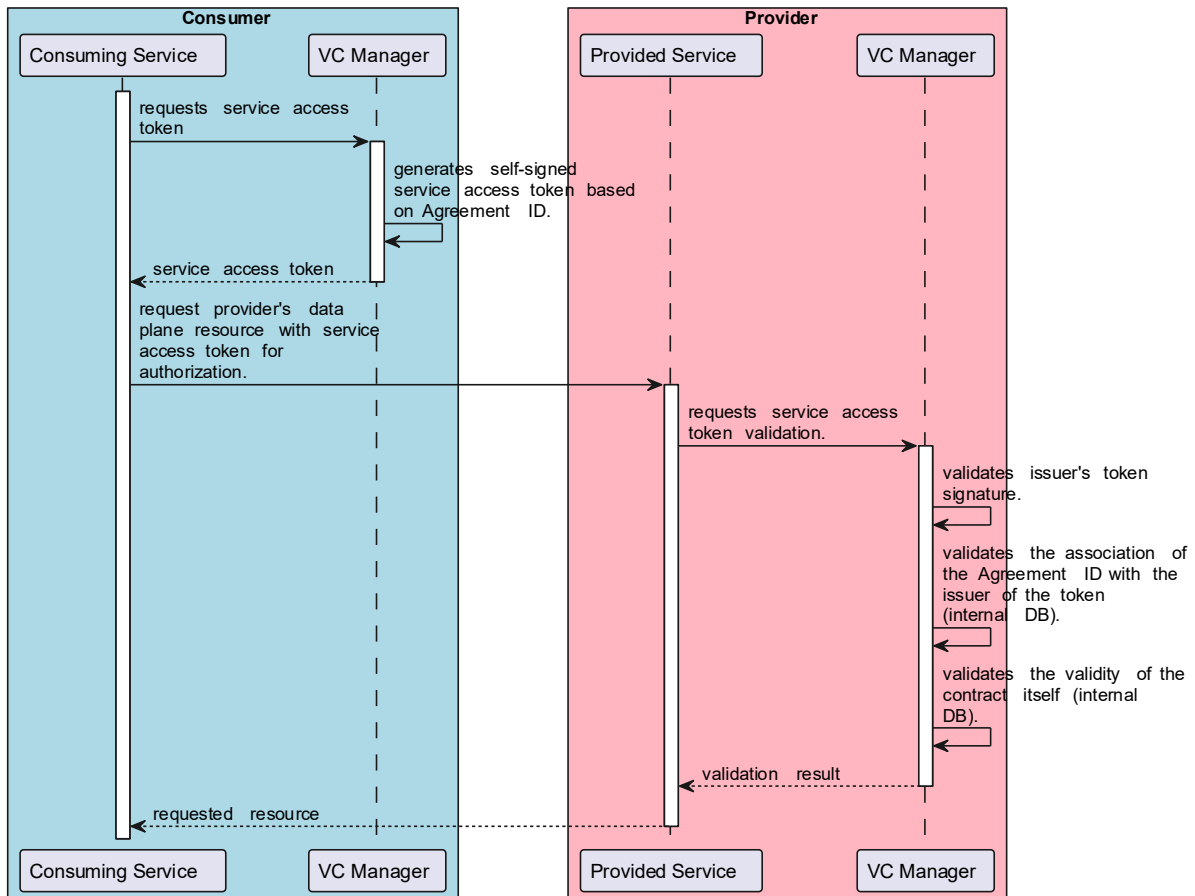


Abbildung 13 – Sequenzdiagramm zur Data Plane Autorisierung auf Basis des Vertrags und eines Service Access Tokens.

Im Rahmen der Arbeiten wurden konkrete Empfehlungen zur Verwendung geeigneter VC-Typen auf Basis der GAIA-X Ontologie („Loire“-Release) erarbeitet. Diese Empfehlungen definieren sowohl verpflichtende als auch optionale Claims für Service Offerings und Verträge. Für Endnutzer wurden VC-Typen spezifiziert, die Transparenz über Anbieterinformationen, angeforderte Fahrzeugdaten und erteilte Zustimmungen gewährleisten.

Ein bedeutender Meilenstein war die beispielhafte Umsetzung eines GAIA-X-konformen Service Offerings. Dieses wurde erfolgreich durch das GAIA-X Digital Clearing House (GX DCH) auf Konformität geprüft. Die erforderlichen Nachweise wurden in Form von VC-JWTs gebündelt und als Verifiable Presentation übermittelt. Das Ergebnis war die Ausstellung eines offiziellen GAIA-X Compliance Credentials durch das GX DCH.

Zur Unterstützung der Partner wurde ein Werkzeug zur assistierten Erstellung und Prüfung von GAIA-X-konformen Service Offerings entwickelt. Dieses Tool ermöglicht die teilautomatisierte Generierung der erforderlichen VCs und deren Übermittlung an das GX DCH. Ergänzend wurden Hilfsmittel zur Erstellung und Verwaltung von DID:WEB-Identitäten bereitgestellt, um dezentrale Identitäten gemäß W3C-Standard effizient aufzusetzen.

Ein weiterer zentraler Beitrag war die Entwicklung einer Ende-zu-Ende GAIA-X Referenzarchitektur für das AGEDA-Framework. Diese Architektur umfasst den Systemkontext, die Systemkomponenten, Sequenzdiagramme sowie Empfehlungen zur Umsetzung des dezentralen Identitätskonzepts der W3C. Die Architektur wurde im Projektkonsortium abgestimmt und bildet die Grundlage für die Umsetzung der Use Cases „Collective Vision & Control“ und „Physical Internet“.

Die Zwischenergebnisse der Arbeitsgruppe wurden regelmäßig in relevanten Projekt-Gremien vorgestellt und diskutiert. Nach Abschluss der Arbeiten wurden die finalen Ergebnisse konsolidiert, im Konsortium kommuniziert und einem Review-Prozess unterzogen. Die abgenommenen Ergebnisse dienen nun als Grundlage für die weitere Entwicklung von AGEDA-Komponenten zur Realisierung von GAIA-X-Konzepten.

### AP 2.3 Dynamische Rekonfiguration

Im Rahmen des Arbeitspakets 2.3 „Dynamischen Rekonfiguration“ leistete die Vodafone Group Services GmbH einen substanziellen Beitrag zur Weiterentwicklung rekonfigurierbarer Fahrzeug- und Edge-Systeme. Der Fokus der Vodafone Group Services GmbH lag darauf, die technischen und konzeptionellen Grundlagen für eine flexible, skalierbare und sichere Anpassung verteilter Fahrzeugfunktionen zu schaffen – sowohl innerhalb des Fahrzeug-Clusters als auch im Zusammenspiel mit externen Cloud Ressourcen.-Systeme. Der Fokus der Vodafone Group Services GmbH lag darauf, die technischen und konzeptionellen Grundlagen für eine flexible, skalierbare und sichere Anpassung verteilter Fahrzeugfunktionen zu schaffen – sowohl innerhalb de-Ressourcen.

Ein wesentlicher Schwerpunkt bestand in der Ausarbeitung der konzeptionellen Basis für dynamische Rekonfiguration. Dazu zählten die Definition und Abgrenzung relevanter Teilbereiche wie Rekonfigurationskriterien, Vorbereitungs- und Durchführungsmechanismen sowie Fehler und Wiederherstellungsprozesse. Aufbauend darauf unterstützten wir die Identifikation und Strukturierung von Use Cases, insbesondere in den Anwendungsfeldern „Collective Vision & Control“ und „Physical Internet“. Dabei wurde herausgearbeitet, wie rekonfigurierbare Funktionen Mehrwert schaffen können – beispielsweise durch kontextabhängiges Starten von Edge Services, die situativ benötigte Wahrnehmungs- oder Entscheidungslogik bereitstellen.- und Wiederherstellungsprozesse. Aufbauend darauf unterstützten wir die Identifikation und Strukturierung von Use Cases, insbesondere in den Anwendungsfeldern -Services, die situativ benötigte Wahrnehmungs- oder Entscheidungslogik bereitstellen.

In Abbildung 14 ist das abstrahierte Konzept einer dynamischen Konfiguration dargestellt. Aufbauend auf diesem Konzept wurden die Einflüsse auf das AGEDA-Framework und die beinhaltete Service-Orchestrierung untersucht.

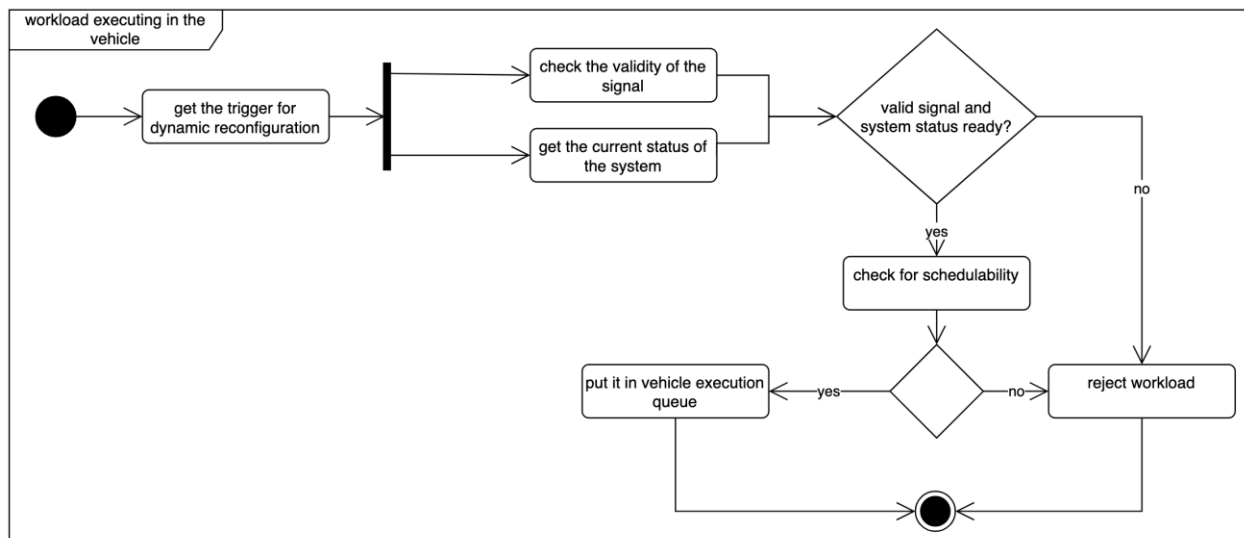


Abbildung 14 – Abstrahiertes Konzept der Triggerung einer dynamischen Rekonfiguration.



Im technischen Kern erprobte und bewertete die Vodafone Group Services GmbH die Integration dynamischer Rekonfiguration in bestehende AGEDA-Komponenten, insbesondere über das -Komponenten, insbesondere über das AGEDA und die Orchestrierungsmechanismen des Ankaio-System-Framework und die Orchestrierungsmechanismen des Ankaio-Systems. Ein zentrales Ergebnis war die detaillierte Analyse rekonfigurationsbezogener Abläufe in konkreten -Systemen. Ein zentrales Ergebnis war die detaillierte Analyse rekonfigurationsbezogener Abläufe in konkreten Use-Case-Phasen, etwa beim initialen Deployment der -Phasen, etwa beim initialen Deployment der Traffic-Awareness-Services (im Kontext des Collective Vision & Control Use Cases) sowie beim positionsbasierten Starten funktionaler Komponenten. Dabei betrachteten wir sowohl Fahrzeuginterne Ressourcen als auch hybride Szenarien, in denen -interne Ressourcen als auch hybride Szenarien, in denen Cloud-Ressourcen unmittelbar zur Erweiterung der EdgeKapazitäten-Kapazitäten beitragen.

Ein weiterer wesentlicher Beitrag lag in der Ausarbeitung konkreter Anforderungen und Randbedingungen für dynamische Rekonfiguration. Dazu zählten Kriterien zur Auswahl optimaler Worker-Nodes oder Mechanismen für einen zuverlässigen Übergang bei Änderungen relevanter System- oder Umfeldparameter – beispielsweise bei Geo-Fence-Übergängen. Diese Anforderungen wurden durch ergänzende User Stories weiter operationalisiert und dienten als Grundlage für die Weiterentwicklung der Architektur und der zugehörigen Framework-Funktionen.

Die Vodafone Group Services GmbH übernahm außerdem eine aktive Rolle in der Gestaltung und Leitung einer spezialisierten Fokusgruppe, die sich mit der Einbindung externer Cloud-Ressourcen befasste. Dieses Gremium entwickelte maßgebliche Beiträge für die Erweiterung des Edge-Device-Clusters durch Virtual External Node Konzepte. Auf dieser Basis konnten hybride Ressourcenmodelle ausgearbeitet werden, die Edge- und Cloud-Umgebungen funktional verbinden und so dynamisch skalierbare Fahrzeugarchitekturen ermöglichen.

Darüber hinaus engagierte sich die Vodafone Group Services GmbH intensiv in der Weiterentwicklung technischer Werkzeuge und Integrationsmechanismen, die für dynamische Rekonfiguration in GAIA-X-basierten Mobilitätsdatenräumen notwendig sind. Hierzu gehörten insbesondere die Aktivitäten im Rahmen der Entwicklung und Integration des VC Managers als DataSpaceConnector sowie Beiträge zu CredentialIssuingMechanismen, die eine sichere und automatisierte Rekonfigurationssteuerung unterstützen. -X-basierten Mobilitätsdatenräumen notwendig sind. Hierzu gehörten insbesondere die Aktivitäten im Rahmen der Entwicklung und Integration des -Space-Connector sowie Beiträge zu Credential-Issuing-Mechanismen, die eine sichere und automatisierte Rekonfigurationssteuerung unterstützen.

Die dabei entstandenen Werkzeuge kamen nicht nur in den regulären Entwicklungsaktivitäten zum Einsatz, sondern wurden insbesondere im Rahmen des Hackathons an der Hochschule HammLippstadt intensiv genutzt und weiter geschärft. Die Vodafone Group Services GmbH leistete hierfür substantielle technische Beiträge sowohl in der Vorbereitung als auch während der Durchführung des Hackathons. Dazu gehörte unter anderem die Bereitstellung und operative Nutzung der Toolchain für GAIA-X Verifiable Credential Issuing und Presentation, wodurch Teilnehmer in die Lage versetzt wurden, identitäts- und vertrauensrelevante Mechanismen konkret auszuprobieren und in ihre Demonstrationslösungen einzubinden. Darüber hinaus entwickelte die Vodafone Group Services GmbH ein eigenes Werkzeug zur automatisierten Generierung von GAIA-X Service Offerings, welches während des Hackathons als zentrales Hilfsmittel diente und von mehreren Teams aktiv genutzt wurde.-Lippstadt intensiv genutzt und weiter geschärft. Die Vodafone Group Services GmbH leistete hierfür substantielle technische Beiträge sowohl in der Vorbereitung als auch während der Durchführung des Hackathons. Dazu gehörte unter anderem die Bereitstellung und operative Nutzung der Toolchain für -X Service Offerings, welches während des Hackathons als zentrales Hilfsmittel diente und von mehreren Teams aktiv genutzt wurde.

Ein weiterer wesentlicher Beitrag war die Entwicklung und Integration des Data Space Connectors VC Manager als AGEDAPLugin. Im Rahmen des Hackathons wurde der VC Manager als produktionsnahes



Evaluationsartefakt eingesetzt, um datenraumkonforme Interaktionen, Vertragsbeziehungen und Credentialbasierte Zugriffskontrollen exemplarisch umzusetzen. Die Teilnehmer konnten dadurch reale GAIAX-Konzepte unmittelbar in ihre technischen Prototypen integrieren.-Plugin. Im Rahmen des Hackathons wurde der -basierte Zugriffskontrollen exemplarisch umzusetzen. Die Teilnehmer konnten dadurch reale -X-Konzepte unmittelbar in ihre technischen Prototypen integrieren.

Darüber hinaus evaluierte und implementierte die Vodafone Group Services GmbH das Virtual External Node Konzept, welches auf einer Kopplung von Elektrobot Ankaio und Vodafone-internen AWS-Cloud-Ressourcen basiert. Dieses Konzept ermöglichte beim Hackathon die flexible Erweiterung von Fahrzeug-Cluster-Ressourcen um externe Cloud-Ressourcen – ein zentraler Baustein zur Demonstration skalierbarer und rekonfigurierbarer Edge-Architekturen. Die bereitgestellten Virtual External Nodes wurden während der Veranstaltung als echte Ausführungsumgebungen genutzt und stellten damit einen wichtigen technischen Unterbau für mehrere Hackathon-Beiträge dar.

Der in Abbildung 15 dargestellte Ablauf wurde im Rahmen des Hackathons unter Verwendung von Elektrobot Ankaio und des AGEDA-Frameworks realisiert und erprobt. Dabei wurde festgestellt, dass das Konzept mit minimalen Anpassungen am AGEDA-Framework umsetzbar ist und somit die Integration und Nutzung von Fahrzeug-externen Ressourcen möglich ist. Die gemeinsam mit den Partnern gewonnen Erkenntnisse wurden im Rahmen des Hackathons geteilt.

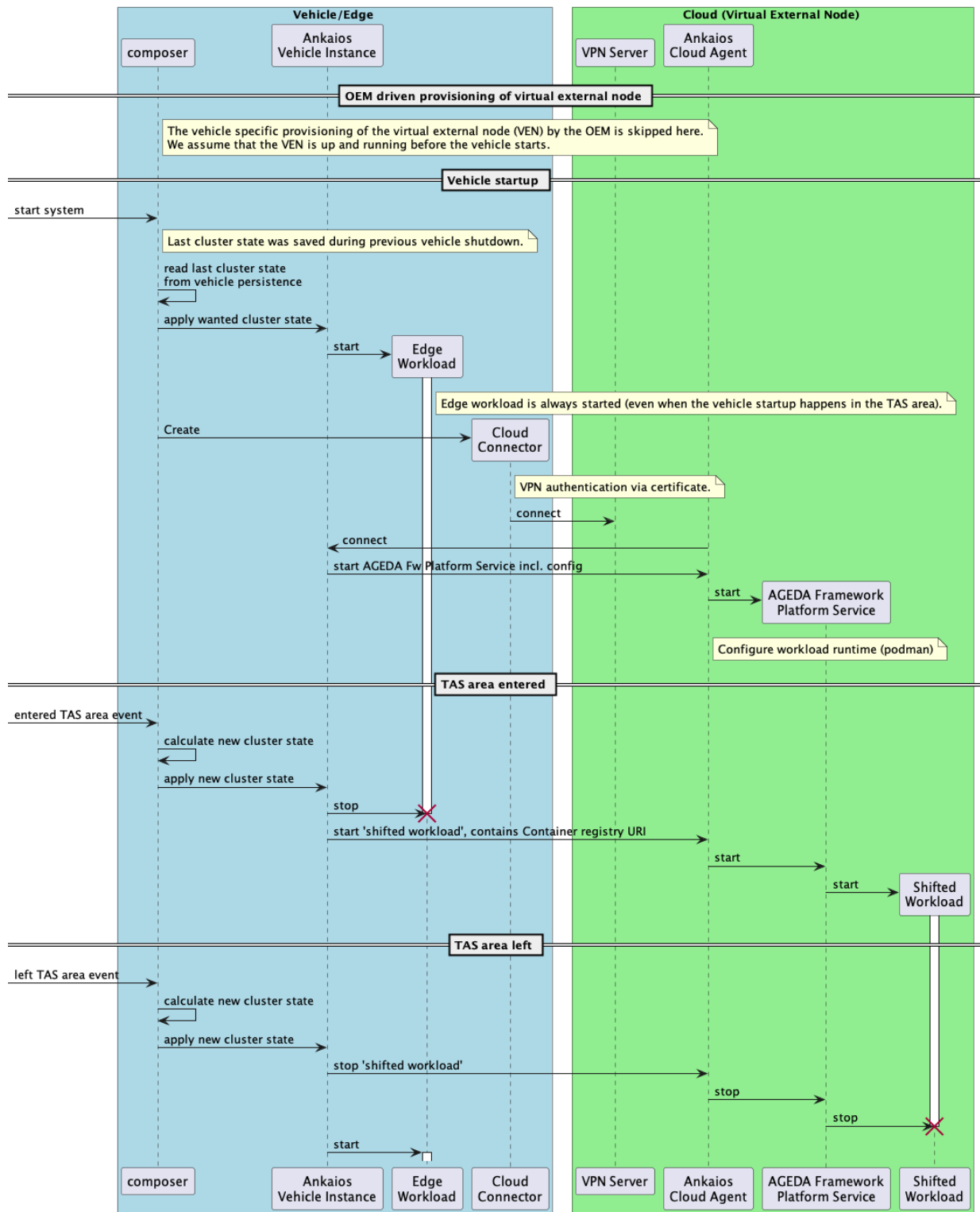


Abbildung 15 – Nutzung eines Virtual External Nodes zur Erweiterung der Fahrzeugressourcen im Rahmen einer dynamischen Rekonfiguration.

Insgesamt trug die Vodafone Group Services GmbH maßgeblich dazu bei, ein robustes konzeptionelles und technisches Fundament für die dynamische Rekonfiguration in verteilten, softwaredefinierten Fahrzeugarchitekturen zu schaffen. Aufbauend auf den im Arbeitspaket verfolgten Zielsetzungen wurden die relevanten Konzepte – einschließlich der Definition von Rekonfigurationskriterien, der methodischen

Vorbereitung von Umschaltvorgängen sowie der Spezifikation zentraler Schnittstellen zwischen Fahrzeug und Edge-Cloud – detailliert ausgearbeitet und in verschiedenen Projektkontexten praktisch erprobt. Die Einbindung externer Cloud-Ressourcen über Virtual External Nodes sowie die prototypische Umsetzung im Rahmen des Hackathons zeigen, dass die angestrebten Ergebnisse in einer Weise erreicht wurden, die zu einer spürbaren Stärkung der Adaptivität und Fehlertoleranz der Systemarchitektur beiträgt. Durch die Kombination aus methodischer Strukturierung, technischer Analyse, Werkzeugentwicklung und aktiver Rollenübernahme in Arbeitsgruppen entstand eine tragfähige Grundlage, auf der zukünftige adaptive Mobilitätsdienste aufbauen können.

### AP 3.1 Entwicklung

Im Arbeitspaket 3.1 leistete die Vodafone Group Services GmbH einen zentralen Beitrag zur Definition und Etablierung eines gemeinsamen Vorgehens für die Entwicklung von Softwarekomponenten innerhalb des GAIA-X 4 AGEDA Projekts. Durch die kontinuierliche Mitarbeit an Abstimmungsrunden wurden die verwendeten Entwicklungswerkzeuge, die Schnittstellenanforderungen sowie die grundlegenden methodischen Prinzipien konsolidiert und projekteinheitlich festgelegt. Dabei stand insbesondere die Harmonisierung der Entwicklungsprozesse im Vordergrund, um eine konsistente und nachvollziehbare Umsetzung verteilter Funktionen im Fahrzeug-Cloud-Edge-Verbund zu gewährleisten.

Ein wesentlicher Schwerpunkt der Arbeiten lag auf der Ausgestaltung eines vertragsbasierten Designansatzes, der als Grundlage für die Spezifikation und Validierung sicherheitsrelevanter Funktionen dient. Dieser Ansatz formalisiert Annahmen und Garantien an den Komponentengrenzen und reduziert dadurch systematisch Integrationsrisiken, insbesondere bei verteilten Perzeptions-, Datenaustausch- und Entscheidungsfunktionen im Kontext des Use Cases „Collective Vision & Control“. Die Methode wurde genutzt, um das funktionale Verhalten der beteiligten Softwarekomponenten klar abzugrenzen, Schnittstellenverletzungen zu vermeiden und die Robustheit gegenüber Updates oder Konfigurationsänderungen zu erhöhen.

Parallel dazu wurde der vertragsbasierte Ansatz in die Struktur des V-Modells überführt, um eine durchgängige Verbindung zwischen Anforderungsdefinition, Architekturentwurf, Implementierung und Validierung herzustellen (siehe Abbildung 16). Dadurch entstand ein kohärenter Rahmen, der sowohl technische Abhängigkeiten als auch Qualitätsanforderungen berücksichtigt und die Nachvollziehbarkeit während des gesamten Entwicklungsprozesses verbessert. Insgesamt ermöglichte die Arbeit im AP 3.1 die gemeinsame Definition einer stabilen methodischen und prozessualen Grundlage, die sicherstellt, dass die im Projekt entwickelten Funktionen in einer verteilten und dynamischen Systemlandschaft zuverlässig umgesetzt und geprüft werden können.

Im Arbeitspaket 3.1 wurden zentrale methodische Grundlagen für die Entwicklung verteilter Softwarefunktionen im GAIA-X 4 AGEDA Projekt geschaffen. Die Mitwirkung an der Definition einer gemeinsamen Entwicklungsumgebung für Edge-Cloud-Komponenten, die Strukturierung von Anforderungen an Entwicklungs- und Testwerkzeuge sowie die Einbettung von Verifikations- und Validierungsmechanismen führten zu einem konsistenten Rahmen für die projektweite Softwareentwicklung. Der vertragsbasierte Designansatz und dessen Integration in das V-Modell ermöglichten eine durchgängige Verknüpfung von Anforderungsdefinition, Architektur, Implementierung und Validierung und trugen zur Verbesserung der Nachvollziehbarkeit und Integrationssicherheit bei. Vor diesem Hintergrund zeigt sich, dass die im Projektantrag formulierten Zielsetzungen aufgegriffen und in tragfähige methodische Strukturen überführt wurden, sodass das Arbeitspaket einen substanziellen Beitrag zur Qualität der Entwicklungsprozesse leistete.

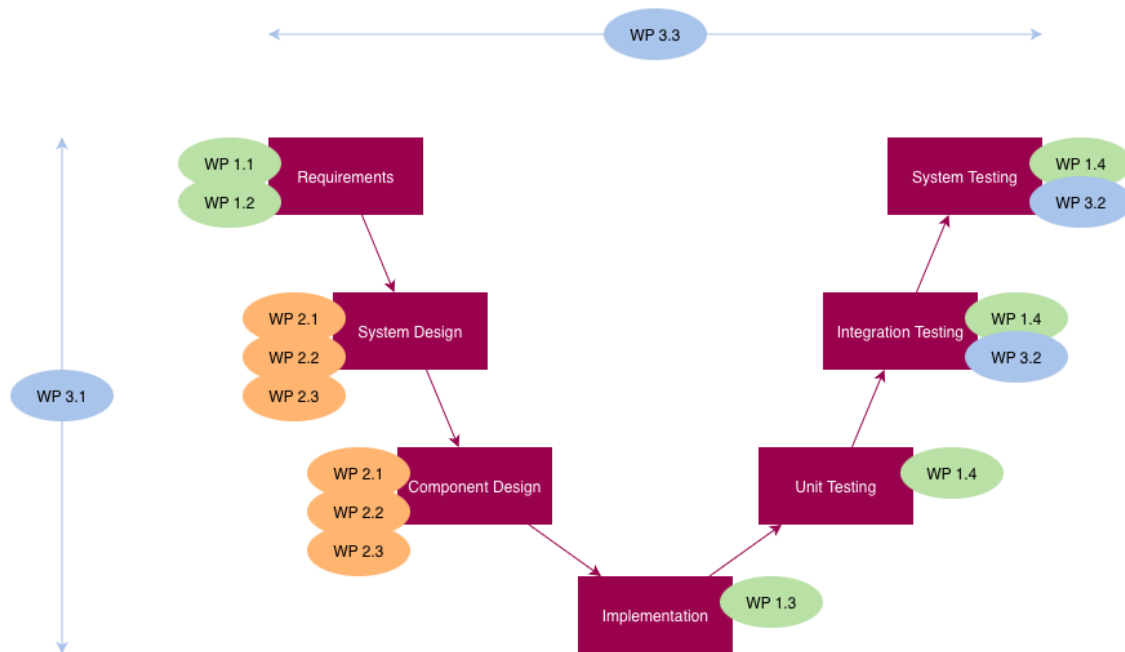


Abbildung 16 – Einbettung der verschiedenen Arbeitspakete in das V-Model.

### AP 3.2 Betrieb

Im Arbeitspaket 3.2 „Betrieb“ leistete die Vodafone Group Services GmbH Beiträge zur Konzeption und prototypischen Umsetzung von Monitoring und UpdateMechanismen für den Betrieb verteilter Fahrzeug, Edge und CloudKomponenten im AGEDA Framework. Ziel der Arbeiten war es, die Voraussetzungen für einen transparenten, kontrollierbaren und wartbaren Betrieb softwaredefinierter Fahrzeugfunktionen zu schaffen. Die Aktivitäten wurden eng mit den angrenzenden Arbeitspaketen abgestimmt und in die Gesamtarchitektur des Projekts eingebettet.- und Update-Mechanismen für den Betrieb verteilter Fahrzeug-, Edge- und Cloud-Komponenten im AGEDA-Framework. Ziel der Arbeiten war es, die Voraussetzungen für einen transparenten, kontrollierbaren und wartbaren Betrieb softwaredefinierter Fahrzeugfunktionen zu schaffen. Die Aktivitäten wurden eng mit den angrenzenden Arbeitspaketen abgestimmt und in die Gesamtarchitektur des Projekts eingebettet.

Im Bereich Monitoring brachte die Vodafone Group Services GmbH ihre fachliche Expertise in die Evaluierung und Auswahl geeigneter Diagnose- und Monitoring-Standards ein. Auf dieser Basis wurde der SOVD (Service-oriented Vehicle Diagnostics)-Standard der Association for Standardization of Automation and Measuring Systems (ASAM) als Grundlage für das Monitoring in GAIA-X 4 AGEDA herangezogen und ein Architekturkonzept zur Integration von SOVD in das Framework mit erarbeitet. Die vorgesehenen Monitoring-Komponenten – darunter ein SOVD-Server als Framework-Baustein, eine SOVD-Library zur Einbindung in Fahrzeug-Workloads sowie ein Remote-SOVD-Client für Cloud-Anwendungen – wurden konzeptionell ausgearbeitet und prototypisch umgesetzt. Begleitend beteiligte sich die Vodafone Group Services GmbH an der Abstimmung von Monitoring-Use-Cases, insbesondere im Kontext der „Collective Vision & Control“-Anwendungsfälle, sowie an der Diskussion zur Darstellung von System- und Arbeitslastzuständen in Client-Schnittstellen.

Im Bereich Updates wirkte die Vodafone Group Services GmbH an der Ausarbeitung von Update-Strategien für Fahrzeug- und Steuergerät-Komponenten mit. Dabei wurden sowohl automatisierte Update-Mechanismen auf Basis der AGEDA-Policy-Engine als auch Konzepte für Over-the-Air-Updates unter Nutzung von SOVD betrachtet.

Die im Projektantrag für das Arbeitspaket 3.2 definierten Ziele wurden erreicht. Sowohl die vorgesehenen Monitoring- als auch die Update-Konzepte und -Komponenten liegen vor und wurden

prototypisch umgesetzt. Im Ergebnis wurden belastbare architektonische und technische Grundlagen für den Betrieb verteilter Fahrzeug-, Edge- und Cloud-Komponenten geschaffen, einschließlich konzeptionell und prototypisch umgesetzter Monitoring-Ansätze auf Basis des ASAM-Standards SOVD sowie ausgearbeiteter Strategien für automatisierte Updates und Rollback-Szenarien von Fahrzeug-Workloads. Damit leistet AP 3.2 einen konsistenten Beitrag zur Betriebsfähigkeit, Wartbarkeit und kontrollierten Weiterentwicklung der im GAIA-X 4 AGEDA Projekt entwickelten Systemarchitektur.

#### **AP 4.1 Projektkoordination**

Im Arbeitspaket 4.1 unterstützte die Vodafone Group Services GmbH die Projektleitung durchgängig in der wissenschaftlichen und organisatorischen Steuerung GAIA-X 4 AGEDA Projekts. Durch die regelmäßige Teilnahme an arbeitspaketübergreifenden Abstimmungen sowie die strukturierte Dokumentation der Ergebnisse wurde ein transparenter Informationsfluss im Konsortium gewährleistet.

Ein zentraler Schwerpunkt lag zudem in der Konzeption, Planung und aktiven Teilnahme an Gesamtprojekt- und Konsortialtreffen. Dies umfasste die inhaltliche Vorbereitung der Sitzungen, die Abstimmung relevanter Themen sowie das Einbringen technischer und organisatorischer Fragestellungen in die projektweiten Diskussionsrunden. Die Mitwirkung in Konsortialformaten, Review-Workshops und Steuerkreisterminen ermöglichte eine frühzeitige Identifikation von Abhängigkeiten zwischen Arbeitspaketen und trug zur Harmonisierung der Projektplanung bei.

Darüber hinaus erfolgte die Begleitung der einzelnen Projektinkremente, einschließlich der Durchführung der jeweiligen Retrospektiven und der Ableitung erforderlicher Maßnahmen. Ergänzend wurde die Planung der folgenden Arbeitsphasen, die Pflege der Roadmaps sowie die Abstimmung mit relevanten Stakeholdern übernommen, um die Konsistenz der Gesamtprojektausrichtung sicherzustellen.

Im Arbeitspaket 4.1 trug die Vodafone Group Services GmbH zu einem strukturierten und transparent gesteuerten Projektablauf bei. Die wahrgenommene interne Koordination sowie die kontinuierliche Abstimmung mit den Konsortialpartnern entsprachen den im Projektantrag vorgesehenen Aufgaben. Durch die Teilnahme an Steuerungsgremien, die Mitwirkung an der Meilensteinplanung und ein durchgängiges Fortschrittstracking wurde eine verlässliche Grundlage geschaffen. Die Begleitung der Projektinkremente und die laufende Stakeholder-Abstimmung unterstützten eine konsistente Ausrichtung der Projektarbeit und damit die Umsetzung der technischen und strategischen Zielsetzungen des Gesamtprojekts.

#### **AP 4.2 und 4.3 Vernetzung sowie Ergebnisverbreitung und -verwertung**

Im Arbeitspaket 4.2 und 4.3 „Vernetzung sowie Ergebnisverbreitung und -verwertung“ leistete die Vodafone Group Services GmbH einen wesentlichen Beitrag zur konsortialen Abstimmung innerhalb der GAIA-X 4 Future Mobility Projektfamilie. Durch die regelmäßige Teilnahme an projektübergreifenden Austauschformaten konnte sichergestellt werden, dass die im GAIA-X 4 AGEDA Projekt entwickelten technischen Konzepte konsequent an gemeinsame Zielbilder angeschlossen wurden. -X 4 Future Mobility Projektfamilie. Durch die regelmäßige Teilnahme an projektübergreifenden Austauschformaten konnte sichergestellt werden, dass die im

Ein zentraler Fokus lag darauf, durch die Vernetzung Ergebnisse anderer Projekte wiederzuverwenden, auf bereits vorhandenen Erfahrungen aufzubauen und dadurch Synergieeffekte systematisch zu heben. Dieser Austausch ermöglichte eine frühe Harmonisierung architektureller und datenraumbezogener Ansätze und stärkte zugleich die Anschlussfähigkeit von GAIA-X 4 AGEDA an die Referenzmodelle der Projektfamilie.

Die Vodafone Group Services GmbH brachte insbesondere ihre Expertise in den Bereichen Datenräume, Identitätsmanagement und verteilte Cloud-/EdgeArchitekturen ein und nutzte gleichzeitig Impulse aus verwandten Konsortien, um die eigenen Use Cases weiter zu schärfen. Die Analyse der



Entwicklungsstände anderer Projekte – insbesondere GAIA-X 4 MoveID und GAIA-X 4 ROMS – lieferte wertvolle technische Erkenntnisse, die unmittelbar in die Weiterentwicklung der AGEDA-Use Cases einfließen. -Architekturen ein und nutzte gleichzeitig Impulse aus verwandten Konsortien, um die eigenen Use Cases weiter zu schärfen. Die Analyse der Entwicklungsstände anderer Projekte – insbesondere -X 4 MoveID und -X 4 ROMS – lieferte wertvolle technische Erkenntnisse, die unmittelbar in die Weiterentwicklung der AGEDA-Use Cases einfließen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Vernetzungsaktivitäten war der kontinuierliche fachliche Austausch mit dem Gaia-X Lab Team. Die Vodafone Group Services GmbH nahm hierzu regelmäßig an den wöchentlichen CommunityMeetings des Labs teil, in denen technische Entwicklungen, Spezifikationsanpassungen sowie Best Practices aus dem Gaia-X-Ökosystem diskutiert wurden. Darüber hinaus erfolgte eine fortlaufende Kommunikation über die offenen SlackKanäle des Gaia-X Labs, was einen schnellen Informationsfluss und die unmittelbare Klärung technischer Fragen ermöglichte. Durch diese enge Anbindung an die Gaia-XCommunity konnten relevante Spezifikationsänderungen frühzeitig erkannt, eigene Ansätze validiert und Erkenntnisse direkt in die Weiterentwicklung der Use Cases des Projekts übertragen werden. Gleichzeitig trug der kontinuierliche Einbezug des Gaia-X Lab Teams dazu bei, die Anschlussfähigkeit der im Projekt entwickelten Konzepte an das entstehende europäische Gaia-X-Ökosystem sicherzustellen und die Qualität der architekturellen und datenraumbezogenen Arbeiten weiter zu erhöhen. -X Lab Team. Die Vodafone Group Services GmbH nahm hierzu regelmäßig an den wöchentlichen Community-Meetings des Labs teil, in denen technische Entwicklungen, Spezifikationsanpassungen sowie Best Practices aus dem Gaia-X-Ökosystem diskutiert wurden. Darüber hinaus erfolgte eine fortlaufende Kommunikation über die offenen Slack-Kanäle des Gaia-X Labs, was einen schnellen Informationsfluss und die unmittelbare Klärung technischer Fragen ermöglichte. Durch diese enge Anbindung an die Gaia-X-Community konnten relevante Spezifikationsänderungen frühzeitig erkannt, eigene Ansätze validiert und Erkenntnisse direkt in die Weiterentwicklung der Use Cases -X Lab Teams dazu bei, die Anschlussfähigkeit der im Projekt entwickelten Konzepte an das entstehende europäische Gaia-X-Ökosystem sicherzustellen und die Qualität der architekturellen und datenraumbezogenen Arbeiten weiter zu erhöhen.

Durch diese aktive Vernetzungs- und Verwertungsarbeit wurde gewährleistet, dass die im GAIA-X 4 AGEDA Projekt erzielten Ergebnisse sichtbar, anschlussfähig und nachhaltig nutzbar sind – sowohl innerhalb der GAIA-X4 Future Mobility Projektfamilie als auch im entstehenden GAIA-X-Ökosystem. Die kontinuierliche Beteiligung an projektübergreifenden Austauschformaten sowie die systematische Einbindung externer Impulse trugen dazu bei, die in GAIA-X 4 AGEDA entwickelten inhaltlichen und architektonischen Ansätze gezielt weiterzuentwickeln und konsistent einzuordnen. Parallel dazu unterstützte die begleitende Dokumentation eine nachvollziehbare Darstellung der Projektergebnisse nach innen und außen. Insgesamt zeigen die Arbeiten in den Arbeitspaketen 4.2 und 4.3, dass die angestrebten Vernetzungs- und Verwertungsziele in substantieller Weise adressiert wurden und einen stabilen Rahmen für Sichtbarkeit, Anschlussfähigkeit und nachhaltige Nutzung der Projektergebnisse geschaffen haben. -X-4-X-Ökosystem. Die kontinuierliche Beteiligung an projektübergreifenden Austauschformaten sowie die systematische Einbindung externer Impulse trugen dazu bei, die in - und Verwertungsziele in

## **2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises,**

Der zahlenmäßige Nachweis gemäß den Fördervorgaben ist dem Schlussbericht beigefügt und weist die im Projekt angefallenen Kosten detailliert nach. Die wesentlichen Kostenpositionen gliedern sich – entsprechend der Projektstruktur und der vorgesehenen Mittelverwendung – in Personalkosten, Reisekosten sowie Sachkosten.

Den mit Abstand größten Anteil stellen die Personalkosten dar. Diese resultieren aus den umfangreichen konzeptionellen, architektonischen und implementierungsbezogenen Arbeiten der Vodafone Group



Services GmbH in den Arbeitspaketen, insbesondere in den Bereichen Use-Case-Ausarbeitung, technische Architektur, Cloud- und Edge-Implementierung sowie GAIA-Xkonforme Datenraum- und Identitätsmechanismen. Die Personalkosten liegen insgesamt unterhalb der ursprünglich geplanten Ansätze, was im Wesentlichen auf eine effiziente Ressourcenplanung, Synergieeffekte zwischen Arbeitspaketen sowie eine teilweise Bündelung von Aufgaben zurückzuführen ist.-X-konforme Datenraum- und Identitätsmechanismen. Die Personalkosten liegen insgesamt unterhalb der ursprünglich geplanten Ansätze, was im Wesentlichen auf eine effiziente Ressourcenplanung, Synergieeffekte zwischen Arbeitspaketen sowie eine teilweise Bündelung von Aufgaben zurückzuführen ist.

Die Reisekosten entstanden im Rahmen projektbedingter Präsenztermine, Konsortialtreffen, Demonstrationsveranstaltungen (z. B. Demo-Wochen) sowie Workshops und Abstimmungen mit Projektpartnern. Diese Reisen waren aus technischer Sicht erforderlich, um Integrationsarbeiten, Abstimmungen an Schnittstellen sowie den Betrieb und die Validierung der Demonstratoren vor Ort sicherzustellen. Die Reisekosten bewegen sich im Rahmen der Planung.

Die Sachkosten umfassen im Wesentlichen projektbezogene Projektmanagementaufwände sowie – in begrenztem Umfang – Kosten für den Betrieb der benötigten Cloud-Infrastruktur (insbesondere für die Demonstrator-Umgebungen und zentrale Cloud-Komponenten). Die Cloud-Kosten waren technisch notwendig, um die prototypischen Cloud- und Edge-Services, einschließlich des Traffic Awareness Cloud Systems, stabil betreiben und demonstrieren zu können. Insgesamt liegen die Sachkosten ebenfalls unter den geplanten Ansätzen, was unter anderem auf eine gezielte, bedarfsorientierte Nutzung der Cloud-Ressourcen und eine kostenbewusste Ausgestaltung der Infrastruktur zurückzuführen ist.

Zusammenfassend zeigt der zahlenmäßige Nachweis, dass die eingesetzten Mittel zielgerichtet, wirtschaftlich und im Einklang mit den technischen Anforderungen des Projekts verwendet wurden. Die Unterschreitungen bei Personal- und Sachkosten belegen eine effiziente Projektumsetzung, ohne die Erreichung der fachlichen und technischen Projektziele zu beeinträchtigen.

### **3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit,**

Die von der Vodafone Group Services GmbH im Verbundvorhaben GAIA-X 4 AGEDA erbrachten Leistungen waren sowohl in fachlicher als auch in technischer Hinsicht für das Erreichen der Projektziele unverzichtbar und in Umfang sowie Tiefe dem vorgesehenen Arbeitsrahmen angemessen. Die Beiträge erstreckten sich über die Konzeption, technische Ausarbeitung, Implementierung, Integration, Validierung und architektonische Konsolidierung zentraler Projektbestandteile und bildeten damit eine durchgängige Leistungskette von der Anforderung bis zur Demonstration.-X 4 AGEDA

Die Notwendigkeit der Beiträge ergibt sich aus der Rolle der Vodafone Group Services GmbH als zentralem Treiber für die inhaltliche, technische und architektonische Kohärenz des Projekts. Bereits in AP 1.1 war die federführende Ausarbeitung und Weiterentwicklung der Use Cases erforderlich, um dem Projekt eine belastbare fachliche Grundlage zu geben. Ohne diese Konkretisierung der Szenarien, Rollen und Ausbaustufen wäre eine systematische Ableitung technischer Anforderungen sowie eine konsistente Demonstrator-Implementierung nicht möglich gewesen.

Darauf aufbauend war der Beitrag in AP 1.2 zur Definition der technischen Anforderungen zwingend notwendig, um die Komplexität verteilter Fahrzeug, Edge und CloudSysteme beherrschbar zu machen. Die strukturierte Erhebung und Kategorisierung technischen Anforderungen sowie die Ausarbeitung eines konsistenten Schnittstellenmodells stellten sicher, dass Interoperabilität, Skalierbarkeit und GAIA-XKonformität von Beginn an berücksichtigt wurden. Diese Arbeiten bildeten das formale und technische Pflichtenheft für die nachfolgenden Architektur und Implementierungsschritte-, Edge- und Cloud-Systeme beherrschbar zu machen. Die strukturierte Erhebung und Kategorisierung technischen Anforderungen sowie die Ausarbeitung eines konsistenten Schnittstellenmodells stellten sicher, dass

Interoperabilität, Skalierbarkeit und -X-Konformität von Beginn an berücksichtigt wurden. Diese Arbeiten bildeten das formale und technische Pflichtenheft für die nachfolgenden Architektur- und Implementierungsschritte.

In AP 1.3 war der Aufbau der Traffic Awareness Cloud, einschließlich der Bereitstellung von Mobilfunkkonnektivität, Cloud-Infrastruktur und zentraler Plattformkomponenten, eine grundlegende Voraussetzung für die Realisierung der Demonstratoren. Insbesondere die Konzeption, Implementierung und Integration des VC Managers als universellem Dataspace Connector war zwingend erforderlich, um identitäts- und vertrauensbasierte Interaktionen im Sinne von GAIA-X praktisch umzusetzen. Ohne diesen Baustein wären GAIA-X-konforme Authentifizierungs-, Autorisierungs- und Compliance-Mechanismen in den Demonstratoren nicht realisierbar gewesen. -Infrastruktur und zentraler Plattformkomponenten, eine grundlegende Voraussetzung für die Realisierung der Demonstratoren. Insbesondere die Konzeption, Implementierung und Integration des -Connector war zwingend erforderlich, um identitäts- und vertrauensbasierte Interaktionen im Sinne von -X praktisch umzusetzen. Ohne diesen Baustein wären -X-konforme Authentifizierungs-, Autorisierungs- und Compliance-Mechanismen in den Demonstratoren nicht realisierbar gewesen.

Die Aktivitäten in AP 1.4 waren notwendig, um die im Projekt entwickelten Demonstratoren fachlich fundiert zu bewerten und ihre Funktionsfähigkeit unter realitätsnahen Bedingungen einzuordnen. Die Validierungsarbeiten konzentrierten sich dabei auf die funktionale Konsistenz der Use-Case-Umsetzung sowie auf die Prüfung zentraler Konnektivitätsparameter, die sich im realisierten Umfang auf Latenz und Verfügbarkeit beschränkten. Durch die Teilnahme an fachlichen Abstimmungen, die gemeinsame Analyse der Testergebnisse und die Bewertung architektur- und datenraumbezogener Aspekte wurde eine nachvollziehbare und konsortial abgestimmte Qualitätssicherung gewährleistet, die zur transparenten Einordnung der Projektergebnisse beitrug.

Darüber hinaus zeigte sich im Projektverlauf, dass eine aktive Beteiligung der Vodafone Group Services GmbH im AP 2.1 erforderlich war, obwohl hierfür ursprünglich keine Ressourcen vorgesehen waren. Die Konsistenz zwischen den in TP 1 definierten Anforderungen und der Gesamtarchitektur konnte nur durch eine substanzielle Mitwirkung in den Architektur-, Datenraum- und GAIA-X-bezogenen Arbeiten gewährleistet werden. Dies betraf insbesondere die Validierung der cloudbasierten Ausführungsplattform für Fahrzeugfunktionen, die Integration externer SmartCity-Datenquellen sowie die Übertragung zentraler GAIA-X-Prinzipien in eine konsistente Referenzarchitektur für Fahrzeug-, Edge- und Cloud-, Datenraum- und -X-bezogenen Arbeiten gewährleistet werden. Dies betraf insbesondere die Validierung der cloudbasierten Ausführungsplattform für Fahrzeugfunktionen, die Integration externer Smart-City-Datenquellen sowie die Übertragung zentraler -X-Prinzipien in eine konsistente Referenzarchitektur für Fahrzeug-, Edge- und Cloud-.

Das Arbeitspaket 2.3 war notwendig, da es eine zentrale Voraussetzung für den Aufbau moderner, verteilter und softwaredefinierter Fahrzeugarchitekturen schafft. Im Fokus stand die Fähigkeit, Funktionen dynamisch, sicher und kontextsensitiv zwischen Fahrzeug-, Edge- und Cloud- zu verlagern – eine im TP 2 explizit formulierte Kernanforderung. Ohne die im Arbeitspaket entwickelten Grundlagen zur Definition von Rekonfigurationskriterien, zur Ausarbeitung sicherer Umschalt- und Wiederherstellungsmechanismen sowie zur Einbindung externer Ressourcen, etwa in Form von Virtual External Nodes, wäre die Realisierung einer flexiblen und updatefähigen Fahrzeugarchitektur nicht möglich gewesen. Die erfolgreiche praktische Erprobung der Konzepte in Demonstratoren sowie im Rahmen des Hackathons bestätigte zudem deren technische Tragfähigkeit und Relevanz für die Zielarchitektur.

Im Arbeitspaket 3.1 „Entwicklung“ war es erforderlich, ein gemeinsames methodisches Fundament für die Softwareentwicklung im GAIA-X 4 AGEDA Projekt zu schaffen. Aufgrund der verteilten Systemarchitektur mit Fahrzeug-, Edge- und Cloud-Komponenten sowie der Beteiligung mehrerer Partner bestand ein klarer Bedarf an abgestimmten Entwicklungsprozessen, Schnittstellenprinzipien und

Werkzeugen. Die Mitwirkung der Vodafone Group Services GmbH an der Harmonisierung dieser Grundlagen stellte sicher, dass verteilte Funktionen konsistent spezifiziert, implementiert und integriert werden konnten. Insbesondere die Ausarbeitung und Anwendung eines vertragsbasierten Designansatzes war notwendig, um Annahmen und Garantien an den Komponentengrenzen explizit zu machen und Integrationsrisiken bei verteilten, sicherheitsrelevanten Funktionen systematisch zu reduzieren. Die Überführung dieses Ansatzes in das V-Modell ermöglichte eine durchgängige Verbindung zwischen Anforderungsdefinition, Architektur, Implementierung und Validierung und schuf damit eine belastbare Grundlage für eine nachvollziehbare und robuste Softwareentwicklung im Projektkontext.

Auch die Arbeiten im Arbeitspaket 3.2 „Betrieb“ waren notwendig, um die nachhaltige Betriebsfähigkeit der im Projekt entwickelten Fahrzeug-, Edge und - und CloudKomponenten-Komponenten sicherzustellen. Da die Aktivitäten in GAIA-X 4 AGEDA auf softwaredefinierten, dynamisch rekonfigurierbaren Systemen basiert, war die frühzeitige Konzeption von Monitoring-, Diagnose und - und UpdateMechanismen eine zwingende Voraussetzung für einen transparenten, kontrollierbaren und sicheren Betrieb der Demonstratoren. Die Beiträge der Vodafone Group Services GmbH zur Evaluierung geeigneter -Mechanismen eine zwingende Voraussetzung für einen transparenten, kontrollierbaren und sicheren Betrieb der Demonstratoren. Die Beiträge der Vodafone Group Services GmbH zur Evaluierung geeigneter MonitoringStandards sowie zur konzeptionellen und prototypischen Umsetzung entsprechender Architekturbausteine schufen die Grundlage, um Systemzustände, Laufzeiteigenschaften und Abhängigkeiten nachvollziehbar zu erfassen. Ebenso war die Ausarbeitung von -Standards sowie zur konzeptionellen und prototypischen Umsetzung entsprechender Architekturbausteine schufen die Grundlage, um Systemzustände, Laufzeiteigenschaften und Abhängigkeiten nachvollziehbar zu erfassen. Ebenso war die Ausarbeitung von Update-Strategien einschließlich Over-t-he--Air -Update und Rollback- und RollbackKonzepten-Konzepten notwendig, um die Weiterentwicklung verteilter Softwarekomponenten kontrolliert und betriebssicher zu ermöglichen.

Die Angemessenheit der Beiträge zeigt sich darin, dass Umfang, Tiefe und Qualität der Arbeiten stets am Projektziel ausgerichtet waren. Die in AP 1.1 erarbeiteten Use Cases wurden in der notwendigen Detailtiefe ausgearbeitet, sodass alle relevanten Akteure, Rollen und Anforderungen nachvollziehbar dokumentiert sind, ohne den Rahmen einer anwendungsorientierten Projektkonzeption zu überschreiten.

Auch die Arbeiten in AP 1.2 entsprachen dem vorgesehenen Arbeitsumfang: Die systematische Ableitung technischer Anforderungen aus den Use Cases und deren Überführung in eine konsistente Struktur schufen ein tragfähiges Fundament, das unmittelbar in die Architekturarbeiten von TP 2 einfluss. Die Ergebnisse wurden nicht isoliert erstellt, sondern kontinuierlich mit den Projektpartnern abgestimmt und weiterverwendet.

In der Demonstrator Implementierung (AP 1.3) waren die geleisteten Implementierungs und Integrationsarbeiten angemessen, um die im Antrag definierten Demonstrationsziele zu erreichen. Die bereitgestellte Cloud und Edge Infrastruktur, die Entwicklung zentraler Plattformkomponenten sowie die operative Unterstützung während der Demonstrationsphase führten zu einer stabilen, funktionsfähigen Referenzimplementierung. Die zusätzliche Bereitstellung von Mock Diensten und Werkzeugen zur Unterstützung der Projektpartner belegt, dass die Arbeiten nicht nur technisch notwendig, sondern auch kooperationsfördernd und zielgerichtet ausgeführt wurden.

Die Beiträge in AP 1.4 waren in Umfang und Tiefe angemessen, da sie den im Projekt realisierten Validierungsumfang abbildeten und eine belastbare Bewertung der Demonstratoren ermöglichten. Die Arbeiten konzentrierten sich auf die fachliche Analyse der Use-Case-Umsetzung, die Bewertung zentraler Konnektivitätsparameter sowie die konsortiale Abstimmung der Testergebnisse. Durch die strukturierte Rückmeldung aus diesen Validierungen wurde die Weiterentwicklung der Demonstratoren gezielt unterstützt und eine transparente, den Projektzielen entsprechende Qualitätssicherung gewährleistet.

Die zusätzlichen Arbeiten in AP 2.1 gingen genau so weit, wie es zur Sicherstellung einer schlüssigen, GAIA-X-konformen Gesamtarchitektur erforderlich war. Besonders hervorzuheben ist, dass diese

Leistungen ursprünglich nicht im Projektumfang der Vodafone Group Services GmbH vorgesehen waren. Sie wurden vielmehr notwendig, weil sich im Projektverlauf zentrale architektonische Lücken und ein klarer Bedarf an zusätzlicher fachlicher Unterstützung zeigten. Um die Kohärenz zwischen den definierten Anforderungen und der Gesamtarchitektur sicherzustellen, war es daher erforderlich, vom ursprünglichen Plan abzuweichen und die fehlenden Aufgaben zu übernehmen. -X-konformen Gesamtarchitektur erforderlich war. Besonders hervorzuheben ist, dass diese Leistungen ursprünglich nicht im Projektumfang der Vodafone Group Services GmbH vorgesehen waren. Sie wurden vielmehr notwendig, weil sich im Projektverlauf zentrale architektonische Lücken und ein klarer Bedarf an zusätzlicher fachlicher Unterstützung zeigten. Um die Kohärenz zwischen den definierten Anforderungen und der Gesamtarchitektur sicherzustellen, war es daher erforderlich, vom ursprünglichen Plan abzuweichen und die fehlenden Aufgaben zu übernehmen.

Die Leitung der Arbeitsgruppe „GAIA-X Architecture“, die Koordination mehrerer Teams, die Bewertung bestehender Datenräume sowie die Entwicklung eigener, projektspezifischer Architekturansätze zeigen, dass die Vodafone Group Services GmbH diese Zusatzaufgaben nicht nur aufgenommen, sondern effizient und zielgerichtet umgesetzt hat. Die erfolgreiche Prüfung eines exemplarischen Service Offerings über das GAIA-X Digital Clearing House und die Ausstellung eines offiziellen GAIA-X Compliance Credentials belegen die praktische Wirksamkeit dieser Arbeiten und unterstreichen, dass die zusätzlichen Beiträge wesentlich zur Schließung der identifizierten Lücke im Projekt beitragen. -X Architecture“, die Koordination mehrerer Teams, die Bewertung bestehender Datenräume sowie die Entwicklung eigener, projektspezifischer Architekturansätze zeigen, dass die Vodafone Group Services GmbH diese Zusatzaufgaben nicht nur aufgenommen, sondern effizient und zielgerichtet umgesetzt hat. Die erfolgreiche Prüfung eines exemplarischen Service Offerings über das GAIA-X Digital Clearing House und die Ausstellung eines offiziellen GAIA-X Compliance Credentials belegen die praktische Wirksamkeit dieser Arbeiten und unterstreichen, dass die zusätzlichen Beiträge wesentlich zur Schließung der identifizierten Lücke im Projekt beitragen.

Die von der Vodafone Group Services GmbH erbrachten Leistungen im AP 2.3 waren in Umfang und Tiefe angemessen, da sie die für die wissenschaftlich-technischen Zielsetzungen erforderlichen Bausteine lieferten. Die Arbeiten kombinierten eine präzise methodische Ausarbeitung mit einer belastbaren praktischen Erprobung und blieben dabei klar im projektrelevanten Rahmen. Die Modellierung sicherer Rekonfigurationsprozesse, die Nutzung externer Cloud-Ressourcen sowie die Umsetzung und Validierung im Hackathon verdeutlichen die zielgerichtete und effiziente Ausrichtung auf die Projektanforderungen. Insgesamt leisteten die Beiträge einen wesentlichen und substantiellen Beitrag zur Stärkung der Gesamtarchitektur und Systemresilienz des GAIA-X 4 AGEDA Projekts. -technischen Zielsetzungen erforderlichen Bausteine lieferten. Die Arbeiten kombinierten eine präzise methodische Ausarbeitung mit einer belastbaren praktischen Erprobung und blieben dabei klar im projektrelevanten Rahmen. Die Modellierung sicherer Rekonfigurationsprozesse, die Nutzung externer Cloud-Ressourcen sowie die Umsetzung und Validierung im Hackathon verdeutlichen die zielgerichtete und effiziente Ausrichtung auf die Projektanforderungen. Insgesamt leisteten die Beiträge einen wesentlichen und substantiellen Beitrag zur Stärkung der Gesamtarchitektur und Systemresilienz des

Die erbrachten Leistungen in AP 3.1 waren dabei in Umfang und Tiefe angemessen. Die Arbeiten beschränkten sich auf die für das Projekt erforderlichen methodischen und prozessualen Grundlagen und gingen nicht über den anwendungsorientierten Rahmen des Vorhabens hinaus. Durch die Definition eines gemeinsamen Entwicklungsrahmens und die Integration des vertragsbasierten Designansatzes wurde ein schlanker, aber wirkungsvoller Beitrag zur Qualität, Integrationssicherheit und Wartbarkeit der entwickelten Softwarekomponenten geleistet.

Die Leistungen in AP 3.2 waren in ihrer Ausgestaltung angemessen und zielgerichtet. Es wurden bewusst konzeptionelle und prototypische Lösungen erarbeitet, die eine Bewertung der technischen Tragfähigkeit erlauben, ohne eine produktive Betriebsumgebung vorwegzunehmen. Durch die enge Abstimmung mit den angrenzenden Arbeitspaketen und die Einbettung in die Gesamtarchitektur des Projekts entstand

ein konsistenter Beitrag zur Betriebsfähigkeit, Wartbarkeit und kontrollierten Weiterentwicklung der GAIA-X 4 AGEDA-Systemlandschaft. Damit lieferten die Arbeiten in AP 3.2 genau den erforderlichen Umfang und die notwendige Tiefe zur nachhaltigen Absicherung der Projektergebnisse.

Zusammenfassend waren alle von der Vodafone Group Services GmbH erbrachten Leistungen für den Projekterfolg notwendig und in ihrer Ausgestaltung angemessen. Das Unternehmen leistete entscheidende Beiträge entlang der gesamten Wertschöpfungskette des Projekts – von der inhaltlichen Konzeption über die technische Umsetzung bis hin zu Validierung und Compliance-Nachweis. Die Arbeiten wurden in hoher Qualität, gemäß Planung und im Einklang mit den Zielsetzungen des Fördergebers erbracht. Insgesamt ergibt sich ein konsistenter, erfolgreicher Gesamtbeitrag zum Verbundvorhaben GAIA-X 4 AGEDA, der die Erreichung der Projektziele nicht nur ermöglicht, sondern in wesentlichen Punkten gestärkt hat. -Nachweis. Die Arbeiten wurden in hoher Qualität, gemäß Planung und im Einklang mit den Zielsetzungen des Fördergebers erbracht. Insgesamt ergibt sich ein konsistenter, erfolgreicher Gesamtbeitrag zum Verbundvorhaben-X 4 AGEDA, der die Erreichung der Projektziele nicht nur ermöglicht, sondern in wesentlichen Punkten gestärkt hat.

#### **4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans,**

Im Projekt wurden mehrere technische Konzepte und prototypische Ansätze entwickelt, die langfristig Potenzial für unterschiedliche Mobilitäts- und Datenraumanwendungen bieten. Dazu gehören unter anderem Verfahren zur sicheren Nutzung digitaler Nachweise sowie Ideen zur effizienteren Steuerung von Software-Updates. Diese Entwicklungen bilden eine mögliche Grundlage für zukünftige technische Weiterentwicklungen, ohne dass derzeit Aussagen zu konkreten Produkten oder Anwendungen getroffen werden können. Dabei könnte insbesondere die zukünftige Verbreitung und Durchsetzung von GAIA-X eine wichtige Rolle spielen, da der Erfolg entsprechender Standards erheblichen Einfluss auf die tatsächliche Nutzbarkeit und Relevanz einzelner Konzepte haben dürfte. und Datenraumanwendungen bieten. Dazu gehören unter anderem Verfahren zur sicheren Nutzung digitaler Nachweise-Updates. Diese Entwicklungen bilden eine mögliche Grundlage für zukünftige technische Weiterentwicklungen, ohne dass derzeit Aussagen zu konkreten Produkten oder Anwendungen getroffen werden können. - und Datenraumanwendungen bieten. Dazu gehören unter anderem Verfahren zur sicheren Nutzung digitaler Nachweise-Updates. Diese Entwicklungen bilden eine mögliche Grundlage für zukünftige technische Weiterentwicklungen, ohne dass derzeit Aussagen zu konkreten Produkten oder Anwendungen getroffen werden können.

Die erzielten Projektergebnisse zeigen in verschiedenen Bereichen erste Anknüpfungspunkte für eine potenzielle wirtschaftliche Verwertung. Die im Projekt erprobten Konzepte – etwa zu datenbasierten Diensten, interoperablen Datenräumen oder vernetzten Mobilitätsanwendungen – könnten perspektivisch in unterschiedlichen Branchen Mehrwert bieten. Dies betrifft unter anderem datengetriebene Services im Mobilitäts-, Logistik- und Verkehrsbereich.

Für einen möglichen Technologietransfer wären nach Projektende jedoch weitere Schritte notwendig, insbesondere Validierung, Standardisierung und Integration in bestehende Systeme. Pilotprojekte und Kooperationen könnten hierbei eine Rolle spielen.

Auch wissenschaftlich eröffnen die Projektergebnisse Ansatzpunkte für weiterführende Forschung, zum Beispiel im Bereich vertrauenswürdiger Identitäten, Cloud-/Edge-Architekturen oder Smart-City-Anwendungen. Die im Projekt entstandenen Konzepte lassen sich grundsätzlich in bestehende Netzwerke und Wissensplattformen einordnen und unterstützen damit die Weiterführung der gewonnenen Erkenntnisse.

Insgesamt bietet das Projekt eine Grundlage, auf der künftige Entwicklungen aufbauen könnten. Konkrete Verwertungsschritte hängen jedoch von externen Faktoren wie technischer Reife,

Marktanforderungen und Kooperationsmöglichkeiten sowie der zukünftigen Etablierung von Initiativen wie GAIA-X ab.

## 5. es während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen,

Im Verlauf des Projekts wurden insbesondere innerhalb der GAIA-X 4 Future Mobility Projektfamilie Entwicklungen im Bereich Dataspaces beobachtet, die unmittelbar für GAIA-X 4 AGEDA relevant waren. In mehreren Schwesterprojekten – darunter *GAIA-X 4 MoveID*, *GAIA-X 4 ROMS* und *GAIA-X 4 PLC* – wurden zentrale Bausteine für den Aufbau föderierter Datenräume weiterentwickelt, die wesentliche Impulse für die Arbeiten im GAIA-X 4 AGEDAProjekt lieferten. -X 4 Future Mobility -X 4 MoveID -X 4 ROMS -X 4 PLC -X-Projekt lieferten.

Ein zusätzlicher Einflussfaktor während der Projektlaufzeit waren mehrere GAIA-X Spezifikations Releases, die teils umfangreiche Änderungen („Breaking Changes“) an den bestehenden Konzepten, Vokabularen und technischen Abläufen mit sich brachten. Diese Releases betrafen insbesondere die Bereiche Verifiable Credentials, Service Offerings, Interaktionsmodelle, Compliance Prozesse sowie dezentralen Identitätskonzepte. Durch die teils grundlegenden Anpassungen mussten bereits entwickelte Modelle, Artefakte und Implementierungen wiederholt überarbeitet und mit den neuen Spezifikationen abgeglichen werden. Dies führte zu einem spürbaren Mehraufwand, da sowohl technische Komponenten als auch Dokumentation, Validierungslogik und Interaktionsabläufe iterativ aktualisiert werden mussten. -X Spezifikations Releases, die teils umfangreiche Änderungen („Breaking Changes“) an den bestehenden Konzepten, Vokabularen und technischen Abläufen mit sich brachten. Diese Releases betrafen insbesondere die Bereiche Verifiable Credentials, Service Offerings, Interaktionsmodelle, Compliance-Prozesse

Die Konsequenzen dieser Breaking Changes umfassten insbesondere:

- Refactoring und Re-Alignment bestehender Implementierungen, z. B. Anpassungen an Claim-Strukturen, Credential-Typen oder Interaktionssequenzen.
- Erneute Abstimmung mit Projektpartnern, um sicherzustellen, dass alle Beteiligten die angepassten Spezifikationen einheitlich interpretieren und umsetzen.
- Nachjustierung der Referenzarchitektur, da einzelne Systemabläufe, Rollenbeschreibungen oder ServiceModelle nicht mehr vollständig mit den neuen GAIA-X Vorgaben kompatibel waren. -X Modelle nicht mehr vollständig mit den neuen GAIA-X Vorgaben kompatibel waren.
- Wiederholte Konformitätsprüfungen, u. a. über das GAIA-X Digital Clearing House, da zuvor gültige Artefakte nicht mehr akzeptiert oder formal als veraltet eingestuft wurden. -X Digital Clearing House, da zuvor gültige Artefakte nicht mehr akzeptiert oder formal als veraltet eingestuft wurden.
- Erhöhter Koordinationsbedarf innerhalb der Arbeitsgruppen „GAIA-X Architecture“, insbesondere hinsichtlich Contracting Abläufen und Identitätsmodellen. -X Architecture“, insbesondere hinsichtlich Contracting-Abläufen und Identitätsmodellen.

Parallel dazu wurden in den Schwesterprojekten weitere relevante Entwicklungen vorangetrieben. Besonders hervorzuheben ist die Weiterentwicklung von Dataspace Architekturen und GAIA-X konformen Connector Komponenten, die in den Schwesterprojekten bereits früh prototypisch umgesetzt wurden. Dazu zählen u.a.: -X Architekturen und -X konformen Connector-Komponenten, die in den Schwesterprojekten bereits früh prototypisch umgesetzt wurden. Dazu zählen u. a.:

- Dataspace Connectoren der MoveID-Initiative, die frühzeitig Mechanismen für dezentrale Identitäten, Verifiable Credentials und föderierte Service-Registrierung implementierten. Diese

Arbeiten bildeten eine Inspirationsquelle für den im GAIA-X 4 AGEDA Projekt entwickelten VC Manager und dessen Interaktionsmodelle im Datenraum.

- Fortschritte in standardisierten ServiceBeschreibungen und Metadatenmodellen, die insbesondere in GAIA-X 4 ROMS ausgearbeitet wurden und eine bessere Vergleichbarkeit und Interoperabilität von Daten und Serviceangeboten zwischen unterschiedlichen Mobilitätsdomänen ermöglichen. Erkenntnisse daraus wurden in GAIA-X 4 AGEDA u.a. bei der Erstellung von Service Offerings, der Modellierung von Geschäftsbeziehungen und der Evaluierung geeigneter VCTypen berücksichtigt.-Beschreibungen und Metadatenmodellen, die insbesondere in GAIA-X 4 ROMS ausgearbeitet wurden und eine bessere Vergleichbarkeit und Interoperabilität von Daten- und Serviceangeboten zwischen unterschiedlichen Mobilitätsdomänen ermöglichen. Erkenntnisse daraus wurden in -Typen berücksichtigt.
- In mehreren Schwesterprojekten wurde zudem die Integration von Mobility Data Space, Envited-X und weiteren thematischen Datenräumen vorangetrieben. Diese frühzeitigen Erfahrungen halfen bei der Bewertung der Datenräume hinsichtlich ihrer Eignung und GAIA-XKonformität für GAIA-X 4 AGEDA. Die Feststellung, dass keiner der untersuchten Datenräume vollständig geeignet war, bestätigte den im GAIA-X 4 AGEDA Projekt eingeschlagenen Ansatz einer projektspezifischen Referenzarchitektur.-X-Konformität für

Insgesamt zeigten die Schwesterprojekte, dass sich das europäische Mobilitätsökosystem in Richtung föderierter, interoperabler Datenräume entwickelt. Die dort erzielten Fortschritte ermöglichten es dem GAIA-X 4 AGEDA Projekt, eigene Architektur und Integrationsarbeiten gezielt auszurichten, erprobte Konzepte weiterzuentwickeln und zentrale GAIA-XPrinzipien konsistent in das EdgeDeviceAutomobil zu übertragen.- und Integrationsarbeiten gezielt auszurichten, erprobte Konzepte weiterzuentwickeln und zentrale -X-Prinzipien konsistent in das Edge-Device-Automobil zu übertragen.

## **6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr.11.**

Die Vodafone Group Services GmbH hat keine erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr.11 zu berichten.