

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

Zuwendungsempfänger:

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt**

Förderkennzeichen:

**19S22004N**

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



Laufzeit des Vorhabens:

**01.10.2022 – 31.12.2025**

Berichtszeitraum:

**Schlussbericht – 01.10.2022 bis 31.12.2025**

Erstellt am:

**30.03.2026**

Ort, Datum

Berlin, 30.03.2026

Ort, Datum

Berlin, 30.03.2026

i.A.

-----  
Unterschrift 1

i.A.

-----  
Unterschrift 2

Inhalt

I.	Kurze Darstellung zu .....	3
1.	Aufgabenstellung.....	3
2.	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	3
3.	Planung und Ablauf des Vorhabens .....	4
4.	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	5
5.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	5
II.	Eingehende Darstellung .....	6
1.	Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele .....	6
2.	der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises, .....	26
3.	der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit, .....	26
4.	des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans, .....	26
5.	es während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen, .....	27
6.	der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr.11.....	27

## I. Kurze Darstellung zu

### 1. Aufgabenstellung

Gem. der Gesamtvorhabenbeschreibung war es das Ziel Projektes GAIA-X4AGEDA „einen zukunftsfähigen Architektur-Standard in der Fahrzeugentwicklung vorzubereiten, der eine Vernetzung des Fahrzeugs mit seiner Umgebung auch zur Realisierung sicherheitskritischer Funktionen nativ unterstützt, dabei die Datensouveränität aller beteiligten Stakeholder sicherstellt und es langfristig ermöglicht, neue mobilitätsbasierte Geschäftsmodelle zu entwickeln“.

Die Aufgabe des DLR im Projekt war es aus dem Anwendungsfall „Collective Vision and Control“ konkrete Demonstrationsfälle abzuleiten, welche die Fähigkeiten der eigenen Anlagen berücksichtigen. Die im Projekt entwickelten Methoden sollten in die Anlagen integriert werden, um mittels Versuchsdurchführung die Entwicklung zu begleiten und die Methoden zu validieren. Darüber hinaus sollten die Versuchsanlagen an das GAIA-X-Ökosystem angebunden werden. Abschließendes Ziel war die Demonstration des genannten Anwendungsfalls mit den eigenen Versuchsträgern.

Weitere Kernthemen des DLR im Projekt sind u.a. die Mitentwicklung des AGEDA Frameworks (inkl. des im Projekt entwickelten Traffic-Awareness Services und der Einbeziehung von Datenraum-Technologien), der Entwicklung von Verfahren zur Funktionsdekomposition, -allokation und degradation, die Entwicklung von Verfahren zur sicheren Vorbereitung von Rekonfigurationen sowie die Entwicklung von Methoden und Werkzeugen für sichere Updates.

Die folgende Abbildung zeigt die Verteilung der DLR Personenmonate auf die einzelnen Arbeitspakete:

Arbeitspaket	PM DLR in den Arbeitspaketen
AP 1.1 Ausgestaltung der Anwendungsfälle	8
AP 1.2 Technische Grundlagen	12
AP 1.3 Demonstrator-Implementierung	26
AP 1.4 Verifikation und Validierung	12
AP 2.1 Software- und Hardware-Architektur und AGEDA Komponenten	22
AP 2.2 Funktionsausführung	20
AP 2.3 Dynamische Rekonfiguration	20
AP 3.1 Entwicklung	13
AP 3.2 Betrieb	11
AP 3.3 Zertifizierung	6
AP 4.1 Projektkoordination	4
AP 4.2 Vernetzung	2
AP 4.3 Ergebnisverbreitung und -verwertung	2

Abbildung 1 Übersicht Personenmonate aufgeteilt auf die Arbeitspakete

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

Das Projekt bettete sich ein in eine Zeit, in der der Wechsel des Antriebsstrangs hin zur Elektromobilität sowie das Thema des autonomen Fahrens bzw. des übergeordnete Themenfeld des Software Defined Vehicle die beherrschenden Trends in der Automobilindustrie gewesen sind. Beide Faktoren wurden zum Zeitpunkt der Antragstellung als wichtigste Trends für die Automobilhersteller als auch für die Zuliefererkette betrachtet. Das Projekt widmete sich gezielt dem Themenfeld Software Defined Vehicle und hat die zum Zeitpunkt der Antragstellung mangelnde native Integration von Fahrzeug und Cloud/Edge-Ökosystem fokussiert. Zum Zeitpunkt der Antragstellung, wie auch zu Beginn des Projektes, war keine Lösung bekannt, die eine native Einbindung von Fahrzeugfunktionen in ein Cloud/Edge-Ökosystem ermöglichte. Bereits in der Gesamtvorhabenbeschreibung wurde deutlich gemacht, dass die Weiterverwendung bestehender Architekturansätze als nicht zielführend

betrachtet wird, da die Entwicklung digitalisierter Fahrzeugdienste auf bestehenden Architekturen mit deutlich erhöhtem Entwicklungs- und Wartungsaufwand verbunden ist.

### 3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt war als ein dreijähriges Projekt geplant, das in drei jährlichen Inkrementen die Entwicklung einer neuen Fahrzeugmiddleware voranbringen sollte. Die inhaltliche Struktur des Projektes wurde wie in der Gesamtvorhabenbeschreibung geplant umgesetzt. Der Projektstrukturplan aus der Gesamtvorhabenbeschreibung ist nachfolgend dargestellt. Das DLR war als zentraler Partner im Projekt an allen Arbeitspaketen beteiligt und hat insbesondere durch die Verwendung seiner Testfeldinfrastruktur dazu beigetragen die Ergebnisse anschaulich zu präsentieren.

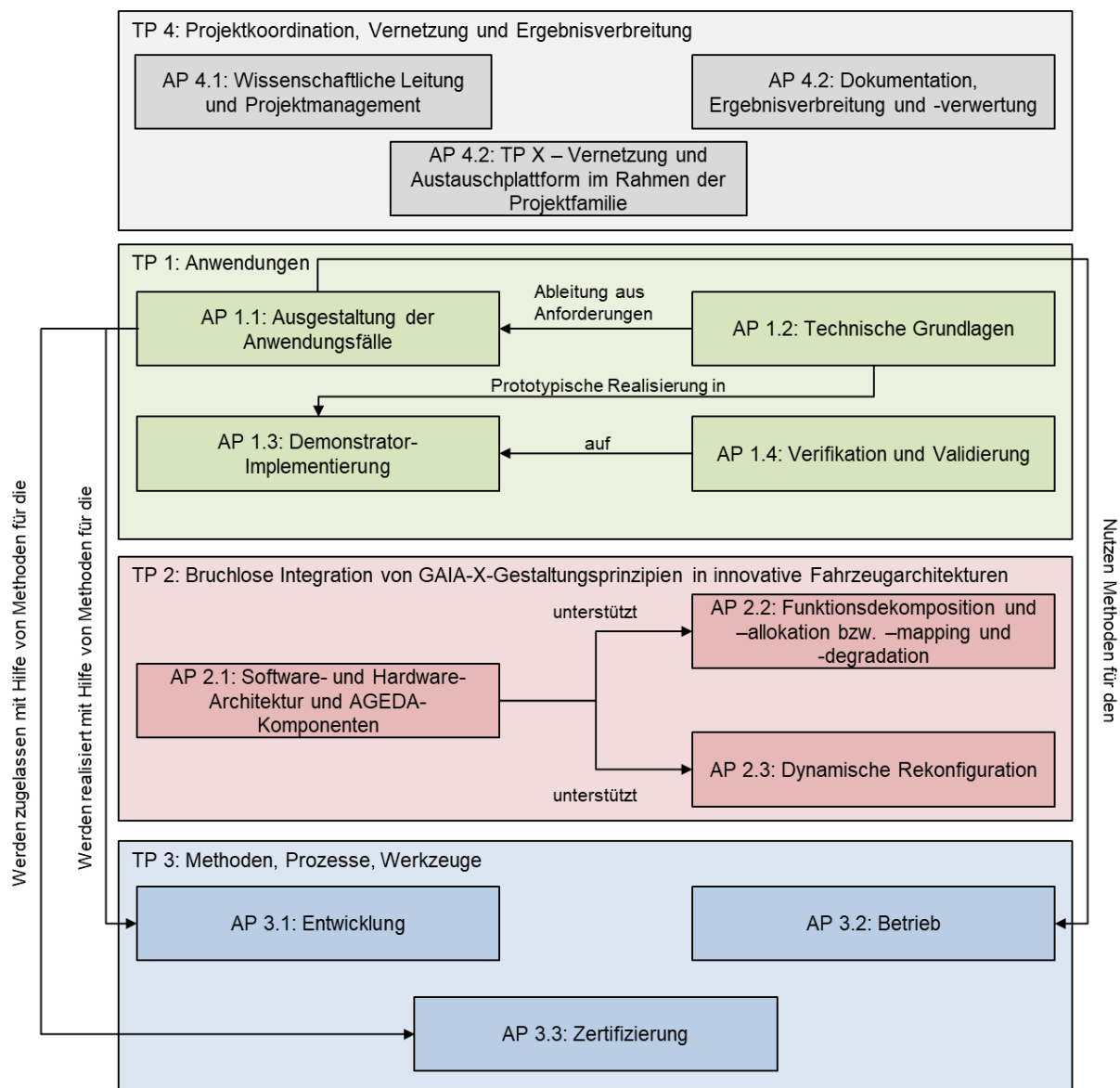


Abbildung 2 Projektstrukturplan aus der Gesamtvorhabenbeschreibung

Die jährlichen Projektinkremente wurden jeweils im September/Oktober eines Jahres abgeschlossen und z. T. mit physischen Demonstrationen unter Nutzung von Anlagen (Fahrzeugen und Infrastruktur) des DLR sowie einzelner Projektpartner begleitet.

Für den Abschluss des Projektes wurde eine kostenneutrale Verlängerung von Oktober bis Dezember 2025 beantragt und umgesetzt, in der die Nachbereitung und Dokumentation des letzten Inkrements erfolgte.

#### **4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde**

Wie bereits in der Gesamtvorhabenbeschreibung dargestellt wurde, gab es zum Zeitpunkt der Antragsstellung sowie zum Projektstart noch keine vorhandenen Lösungen für eine native Cloud/Edge-Anbindung von Fahrzeugen. Dennoch war das Themenfeld der Fahrzeugarchitekturen und darin insbesondere der Wandel weg von dezentralen zu zentraleren Architekturkonzepten bereits präsent. Das DLR konnte in diesem Zuge insbesondere auf seine eigene offene Fahrzeugautomationsplattform ADORe sowie die Softwarearchitekturen im Testfeld Niedersachsen zurückgreifen. Darüber hinaus konnten auch verfügbare prototypische Versionen der industriellen Projektpartner, wie bspw. das AGEDA-Framework (federführend von Continental), verwendet und weiterentwickelt werden. Konkrete wissenschaftliche Fachliteratur zu einzelnen Ergebnissen aus dem Projekt sind in den jeweiligen wissenschaftlichen Publikationen genannt.

Im Kontext der Cloud/Edge-Anbindung konnte das Projekt sowohl auf die theoretischen Konzepte des GAIA-X Frameworks (insbesondere den Eclipse Dataspace Components) zurückgreifen. Auch Ergebnisse aus den anderen Projekten der Projektfamilie GAIA-X 4 Future Mobility fanden in diesem Projekt Verwendung, insb. KI-gestützte Perzeption (s. GAIA-X 4 KI), Definition von dynamischen Gefahrenstellen (s. GAIA-X 4 AMS), Erfahrungen aus der Anbindung von Infrastrukturanlagen (s. GAIA-X 4 PLC-AAD) sowie projektübergreifend Entwicklungen zu Datenraumkonnektoren.

#### **5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Das DLR hat im Rahmen des Projektes insbesondere sehr eng mit den industriellen Projektpartnern zusammengearbeitet. Als anwendungsorientierte Forschungseinrichtung, deren Ziel die industrielle Verwertbarkeit der eigenen Projektergebnisse im Vordergrund steht, ist eine solche Zusammenarbeit zwingend notwendig, um insbesondere industrielle Anforderungen zu berücksichtigen. So wurden im Rahmen des Projektes speziell die Ergebnisse der Partner AVL, Bosch, Continental, Vodafone und Volkswagen in das Fahrzeug des DLR integriert, um eine entsprechende Demonstration der Projektergebnisse im Testfeld durchführen zu können.

Über die Projektgrenzen hinaus, hat das DLR/das Konsortium über das im Projekt verankerte TPX bzw. die Gaia-X 4 Future Mobility Projektfamilie Kontakt mit den Schwesterprojekten gehabt. So fanden am Anfang des Projekts Austausche zu technischen und organisatorischen Themen mit dem Projekt Gaia-X 4 KI statt, in denen Konsortialpartner erlerntes Know How vorgestellt haben. Weiterhin wurde mit dem Projekt Gaia-X 4 moveID zum Thema Decentralised Identifiers (DID) kooperiert.

Basierend aus den Erfahrungen, insbesondere aus diesem Projekt heraus, hat sich das DLR auch an Fachgesprächen, insbesondere zum Thema Software Defined Vehicle, beteiligt, bspw. im Rahmen der Fachtagung „Automatisiertes und vernetztes Fahren“.

## II. Eingehende Darstellung

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

#### AP 1.1 Ausgestaltung der Anwendungsfälle

Im AP 1.1 wurden die zwei Demonstratoren „Collective Vision and Control“ (CVC) und „Physical Internet“ iterativ entwickelt und ausgearbeitet. Beide Demonstratoren wurden über jeweils vier Ausbaustufen während der gesamten Projektlaufzeit immer wieder verfeinert und dienten als Grundlage der Entwicklung und Evaluation der Methodiken und Systeme in den anderen APs.

DLR koordinierte die Gestaltung von Anwendungsfällen für den Demonstrator „CVC“. Besonders die Anwendungsfälle "Vehicle-to-cloud data transmission of detected objects" und "Infrastructure-to-cloud data transmission of detected objects" wurden unter der Führung des DLRs zusammen mit den Forschungspartnern detailliert ausgearbeitet und in die übergreifende AGEDA-Architektur integriert.

Der Demonstrator CVC wurde über insgesamt vier Ausbaustufen bzgl. Beschreibung und Spezifikation erfolgreich weiterentwickelt. Im Detail wurde während der **ersten Ausbaustufe** die grundlegende Beschreibung der Anwendung im Kontext des Demonstrators ausgearbeitet. Dies beinhaltet die Nutzung von Daten außerhalb eines Fahrzeugs, die Schnittstellen und die Vorteile der Vernetzung von Fahrzeugen mit der Cloud im sicherheitskritischen Bereich unter Verwendung von Gaia-X-Schnittstellen. Während der Erstellung der **zweiten Ausbaustufe** "Demo Case CVC 2" wurde sich auf die Übertragung von Kartenmaterial auf das Fahrzeug fokussiert, in der ein kollisionsgefährdeter Bereich basierend auf Sensorbeobachtungen von Infrastruktur und Fahrzeugen dargestellt wird. Das DLR und die Partner erweiterten in der **dritten Ausbaustufe** "Demo Case CVC 3" die Beschreibung und Spezifikation auf der Datenebene um die Erzeugung einer Warnung an das empfangende Fahrzeug vor einer möglichen Kollision im Hinblick auf automatisierte Fahrmanöver. Am Ende der Entwicklung der letzten Ausbaustufe wurde die notwendige Infrastruktur zur Ermöglichung von Cloud-basierter Sicherheitsfunktionen weiter spezifiziert.

Die angegebenen Ergebnisse wurden laufend in Berichten im Projekt-Confluence dokumentiert und so den Projektpartnern zur Verfügung gestellt. Bei der Bearbeitung der **vierten Ausbaustufe** des CVC wurde erkannt, dass es hier zu einigen Herausforderungen durch die Komplexität des Systems kommt. Somit wurde eine Lückenanalyse durchgeführt und ein Projekt-interner Bericht "Towards Collaborative Safety Critical Road Applications" durch die Cloud-induced safety (CI-Safe) Arbeitsgruppe, geführt durch das DLR, erarbeitet. Die Abbildung 3 veranschaulicht ein konkretes Szenario, welches für die Lückenanalyse beispielhaft herangezogen wurde und somit die wesentlichen Punkte aufzeigt, die erforderlich sind, um die geforderte Funktionalität zu realisieren (diese Darstellung ist nicht zu verwechseln mit der Demonstration des CVC Level 4 (siehe AP 1.3)). Hier muss das Fahrzeug, um einem herankommenden Rettungswagen Platz zu machen, in einen Kreuzungsbereich fahren, welcher nicht durch die fahrzeugeigene Sensorik abdeckbar ist. Daher wird ein Teil der Automatisierung an ein externes System abgegeben, welches anhand von stationärer Sensorik die kritische Situation auflösen kann. Die erörterten Themen, welche weiterführend adressiert werden müssen, sind der Umgang mit Sicherheit (Security), Fehlverhalten, Zeitverhalten, sowie menschliche Interaktion und Übernahme. Dieser Bericht steht dem Konsortium als Grundlage zur Weiterentwicklung und Verwertung der Projektergebnisse zur Hilfe.

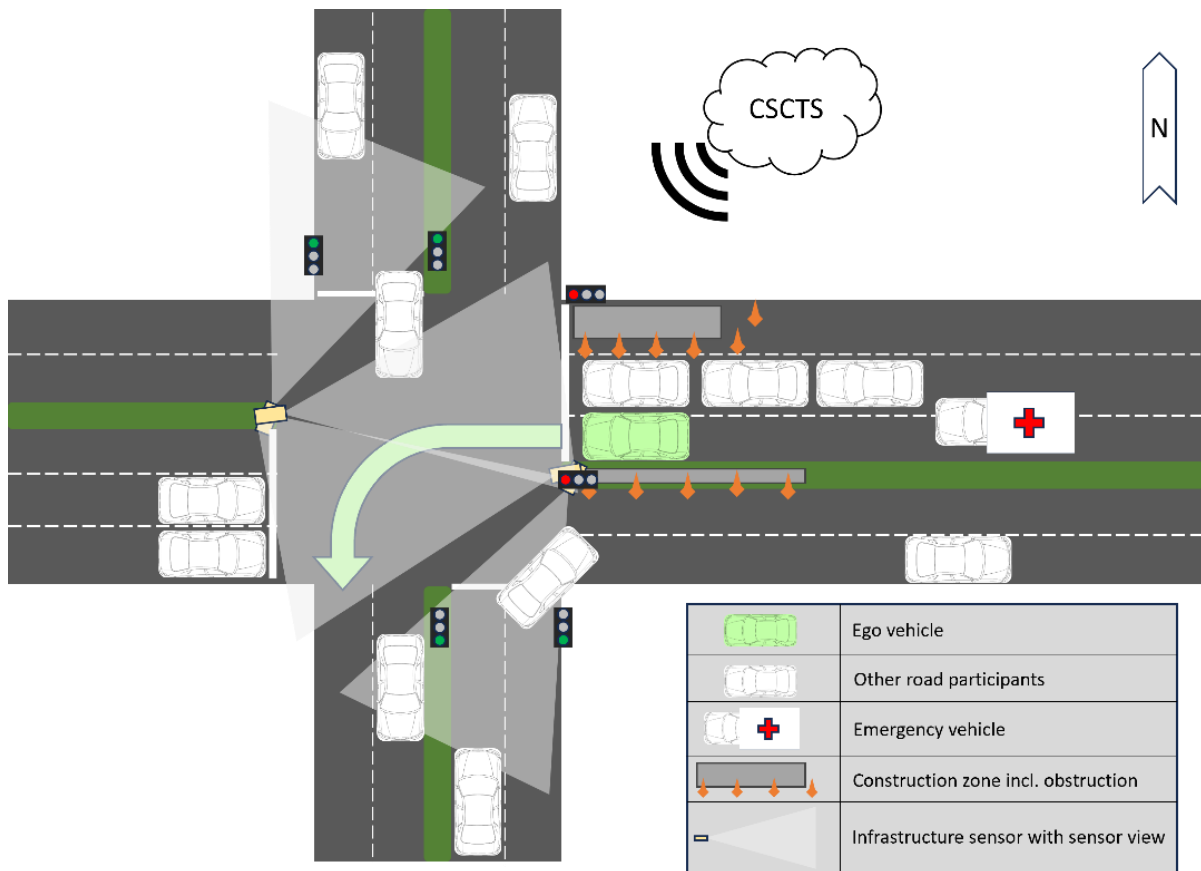


Abbildung 3 Darstellung des komplexen Szenarios, welches beispielhaft für die Identifizierung von Forschungslücken herangezogen wurde. Dies ist nicht zu verwechseln mit dem Demonstrationsszenarios aus AP1.3. Das Fahrzeug muss, um einem herankommenden Rettungsfahrzeug Platz zu machen, in einen Kreuzungsbereich fahren, obwohl Abdeckung der Fahrzeugsensorik hierfür nicht ausreicht. Daher wird Teil der Automatisierung an ein externes System (CSCTS) abgegeben, welches anhand von stationärer Sensorik die kritische Situation auflösen kann.

Zusammenfassend, wurde das AP 1.1 vom DLR erfolgreich geleitet und es wurde eine zufriedenstellende Ausarbeitung der Demonstratoren erzielt. Konkret sind die Anforderungen und Spezifikationen anhand von vier Ausbaustufen des CVC-Demonstrators erfasst worden, welche als Grundlage für TP2 und TP3 zur Weiterentwicklung des AGEDA-Gesamtsystems genutzt wurden. In der vierten Ausbaustufe wurden, wie schon beschrieben, mehrere Herausforderungen identifiziert und dokumentiert, die als Grundlage für weiterführende Forschung genutzt werden können.

## AP 1.2 Technische Grundlagen

Im Rahmen dieses Arbeitspakets AP1.2 wird ermittelt, welche technischen Fähigkeiten die AGEDA Architektur besitzen muss, um die definierten Demonstratoren umzusetzen. Auf technischer Ebene wurde dabei untersucht, wie die einzelnen Komponenten – Fahrzeug, Fahrzeugverbund, Fahrzeug/Infrastrukturverbund sowie Hintergrundsysteme – in den in AP 1.1 betrachteten Anwendungen miteinander interagieren sollen. Zusätzlich werden die konkreten technischen Lösungen für die Umsetzung dieser Interaktionen auf dem Edge Device des Fahrzeugs definiert.

Das DLR hat gemeinsam mit den beteiligten Konsortialpartnern übergreifenden technische Details für die AGEDA-Architektur definiert und evaluiert, die in Themen wie Orchestrierung, Laufzeit, Protokollierung und Hardwareabstraktion kategorisiert werden können. Ziel war es Anforderungen an die Komponenten und Schnittstellen zu spezifizieren, welche durch die AGEDA-Architektur erfüllt werden müssen, um die Anwendungsfälle aus 1.1 zu ermöglichen. Hierfür wurden übergeordnete Anforderungen entsprechend der Demonstratoren für CVC und Physical Internet definiert. Jeder

Anwendungsfall aus den Demonstratoren wurde mit den übergeordneten Anforderungen für die AGEDA-Architektur abgeglichen, wobei neue fehlende Anforderungen identifiziert und bestehende Anforderungen entsprechend den aktuellen Anforderungen des Demo-Falls verfeinert wurden. Dies wurde vom DLR zusammen mit den beteiligten Konsortialpartnern iterativ für die Ausbaustufen des CVC durchgeführt. Um ein tieferes Verständnis für die Anforderungen und Spezifikationen der AGEDA-Architektur zu bekommen, wurde die von den Projektpartnern entwickelte Hardware in das DLR-eigene Fahrzeug eingebaut und mit dem Fahrzeugwahrnehmungssystem verbunden. Durch diese Integration können die vom Fahrzeug erfassten Sensor- und Umgebungsdaten dem AGEDA-System zur Verfügung gestellt werden. Darüber hinaus wurde auch das vom DLR betriebene Testfeld Niedersachsen als Demonstrationsziel verwendet, um Daten als Referenz für den Datenaustausch mit stationärer Umgebungssensorik zu generieren. Anhand des beispielhaften Datenaustausches wurden Anforderungen und notwendige Schnittstellen für die AGEDA-Architektur definiert, um die Kompatibilität mit dem ETSI Collective Perception Service (ETSI TR 103 562) sicherzustellen. So wurden durch das DLR Anforderungen und notwendige Schnittstellen für den sicheren Datenaustausch definiert, um gewährleisten zu können, dass die vom Fahrzeug erfassten Sensor- und Umgebungsdaten dem AGEDA-System zur Verfügung gestellt werden können.

Alle gesammelten Anforderungen wurden im Projekt-internen Confluence dokumentiert und somit für die weitere Bearbeitung im Projekt und darüber hinaus den Projektpartnern zur Verfügung gestellt. Aus der Sicht des DLRs wurden in diesem AP alle relevanten Anforderungen und Komponenten der AGEDA-Architektur definiert, welche die vollumfängliche und sichere Funktionalität in den Anwendungsfällen gewährleisten.

### **AP 1.3 Demonstrator-Implementierung**

Das DLR hat in diesem AP die leitende und moderierende Rolle zur Umsetzung der Demonstration für den Anwendungsfall „Collective Vision and Control“ übernommen. Hierbei wurden die AGEDA-spezifischen Komponenten in die Versuchsfahrzeuge und Anlagen des DLR integriert, sowie in weitere Fahrzeuge (Bosch, AVL) und Dienste (Smart City Cloud Services, Volkswagen; Traffic Awareness Service, Vodafone; Service-Oriented Vehicle Diagnostics, AVL) der Projektpartner. Zudem wurde das AGEDA-Framework (Continental) auf einem dedizierten fahrzeugseitigen Rechner in die Netzwerkarchitektur eingebunden.

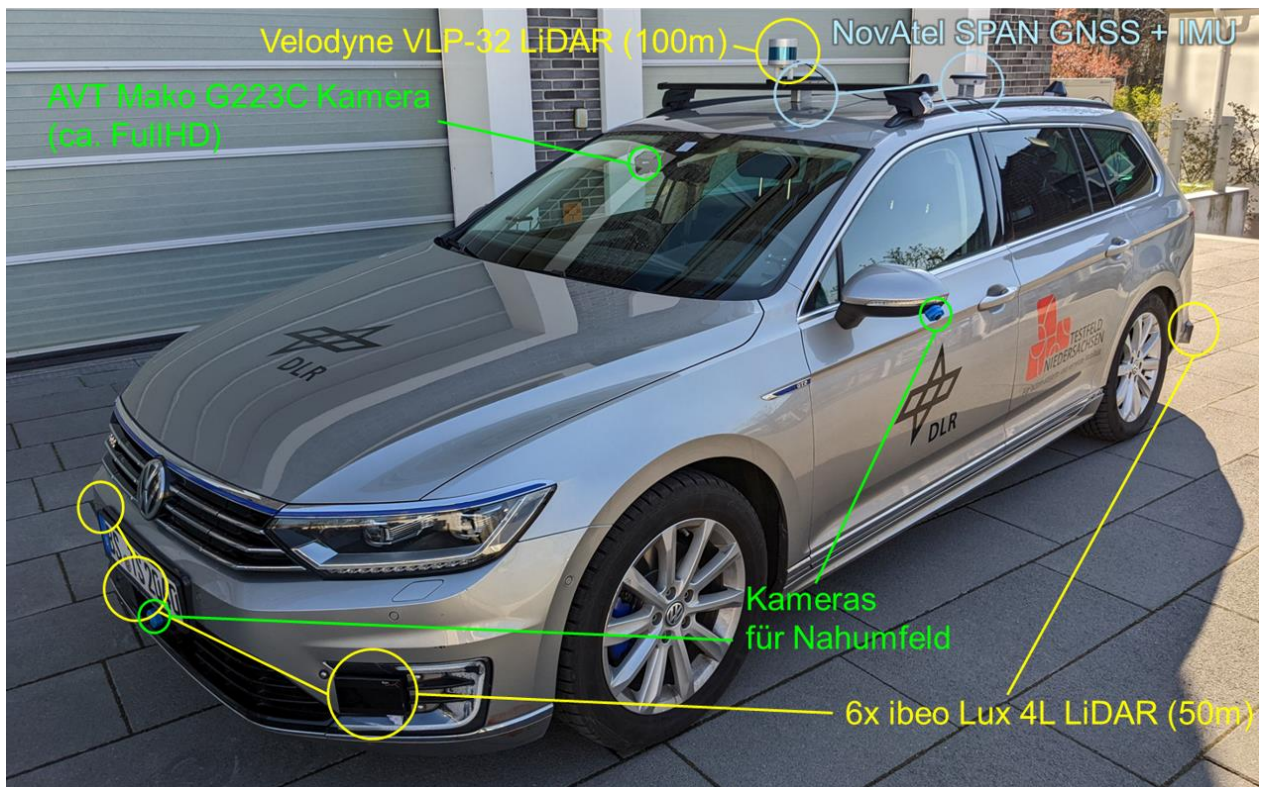


Abbildung 4 Forschungsfahrzeug des DLR, welches in den verschiedenen Demonstrationen eingesetzt wurde.

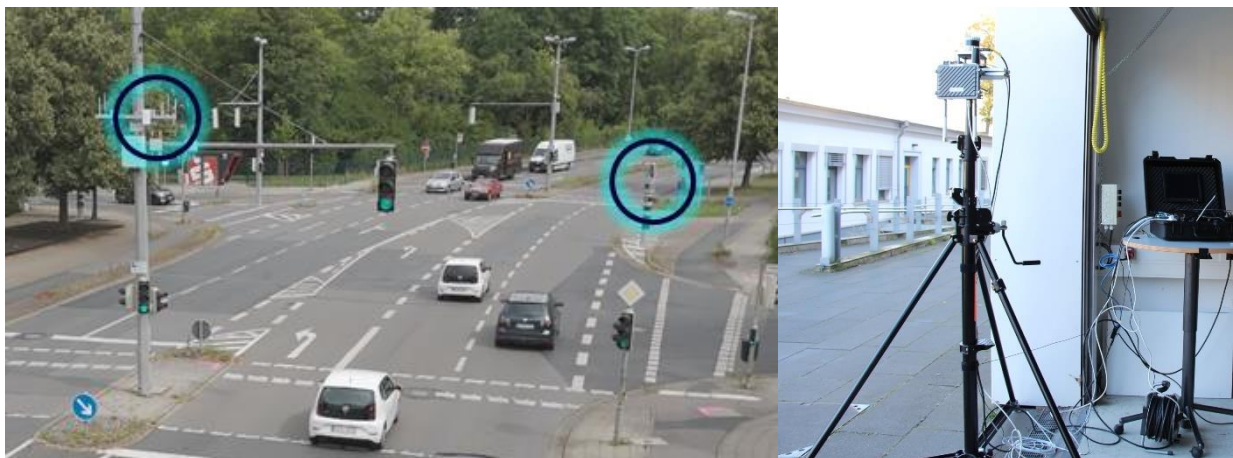


Abbildung 5 Infrastruktur aus dem Testfeld Niedersachsen / Anwendungsplattform Intelligente Mobilität. Stationäre Sensorik am Tostmannplatz in Braunschweig (links), mobile Verkehrssensorik und Kommunikationstechnik (rechts).

Die Umsetzung der Ausbaustufen erfolgte inkrementell im Rahmen von drei partnerübergreifenden Demonstrationenkampagnen, jeweils im Stadtgebiet Braunschweig (s. Abbildung 5):

- September 2023: Übertragung von Perzeptionsdaten aus dem DLR-Fahrzeug heraus und serverseitige Informationsaggregation (Ausbaustufe 1, Kollektive Informationserfassung),
- September 2024: Generierung von ad-hoc Echtzeitdaten mittels Traffic Awareness Service, und daraus Ableitung von Warnungen (Ausbaustufe 2, Kollektive Warnung) und nach erfolgreicher Umsetzung reaktiven Fahrmanövern im automatisierten Fahrzeug (Ausbaustufe 3, Limited Remote Control, siehe Abbildung 6),
- Juli 2025: Ad-hoc Echtzeitrouting des automatisierten Fahrzeugs mit Routenänderung bei auftauchendem Hindernis (Ausbaustufe 4, Remote Control, siehe Abbildung 7).

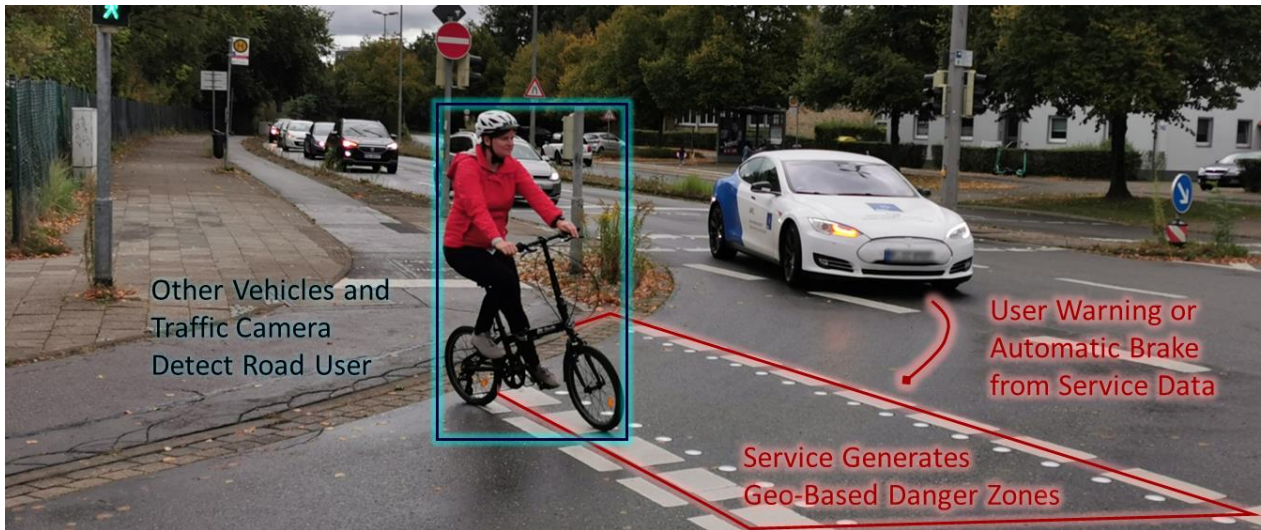


Abbildung 6 Demonstration CVC, Ausbaustufe 3: Andere Fahrzeuge und Verkehrssensorik erfassen Verkehrsteilnehmer wie hier eine Radfahlerin. Zusammen mit semi-dynamischen Informationen aus der „Smart City“ (u.a. Wetter) generiert der Traffic Awareness Service Live-Daten, insbesondere geobezogene Risiken. Die AGEDA-Komponente im Fahrzeug reagiert unmittelbar auf diese Information und kann auch bei schlechter eigener Sicht rechtzeitig reagieren. Wir konnten im Versuch die Echtzeitfähigkeit und Rechtzeitigkeit des erforderlichen Manövers zur Anpassung der Fahrzeuggeschwindigkeit (hier AVL-Fahrzeug rechts) zeigen.

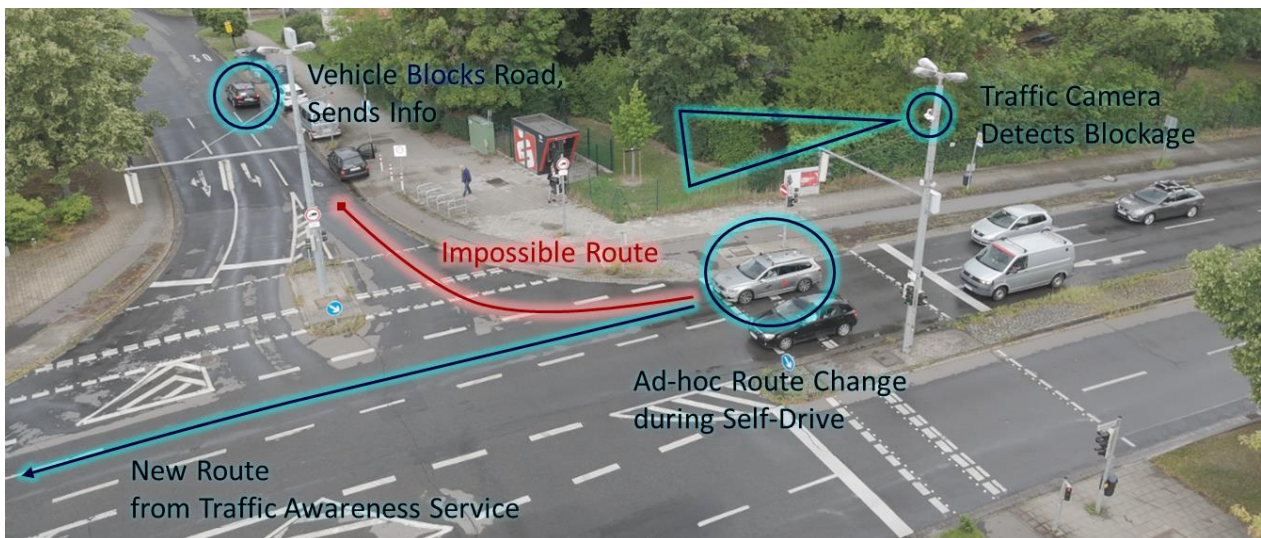


Abbildung 7 Demonstration CVC, Ausbaustufe 4: Hier ist die markierte Route durch ein Fahrzeug blockiert, und die Blockade ist aus der Entfernung nicht einsehbar. Ein Fahrzeug kann die Blockade melden, darüber hinaus kann die Verkehrskamera erkennen bzw. validieren, dass die Straße nicht passierbar ist. Der Traffic Awareness Service generiert nun Alternativrouten für das unpassierbare Teilstück. Wir konnten im Fahrversuch zeigen, dass die Blockade rechtzeitig zur Generierung einer neuen Route führt und dass das automatisierte Fahrzeug (hier DLR-Fahrzeug unten) die neue Route während der Fahrt umsetzt.

## AP 1.4 Verifikation und Validierung

Im Berichtszeitraum hat das DLR den Projektpartner AVL bei der Evaluation der Demonstration im Hinblick auf die übergeordneten Projektziele unterstützt. Fokus der Arbeiten war die Bewertung der Zielerreichung im Themenbereich „Reduzierung der Ineffizienz bei der Verwertung externer Datenquellen“ und insbesondere die Unterziele

- Nr. 2.4 – Einbinden von GAIA-X-kompatiblen externen Datendiensten in Fahrzeug und Cloud,
- Nr. 2.5 – Fusion von Fahrzeugdaten und externen Daten.

Während das Thema Datenfusion und Nutzung im automatisierten Fahrbetrieb in vom DLR verantworteten Fahrdemonstrationen umgesetzt werden konnte (d.h. Cloud Service ist in der Lage, Daten aus externen Quellen zu empfangen und fusioniert bereitzustellen, sowie Ego-Fahrzeug ist in der Lage, diese Daten zu nutzen), gab es zum Zeitpunkt der jeweiligen Demonstrationskampagnen offene Punkte bei der Einbindung GAIA-X-kompatibler Komponenten, insbesondere im Hinblick auf das AGEDA-Framework als zentrale Komponente. Der Projektpartner Continental hat diese Punkte dann in einer gesonderten Demonstration als „Table Demonstrator“ zu den jeweiligen Projektveranstaltungen in 2024 und 2025 präsentiert. Hier hat das DLR die erforderlichen Live-Daten durch Simulation zugeliefert.

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

Das AP 2.1 war eins der zentralen Arbeitspakete in dem die benötigten Komponenten zur Realisierung der Fahrzeugarchitektur und Middleware entwickelt wurden. Hierfür wurden die Anforderungen und Spezifikationen aus dem TP 1 herangezogen und iterativ entlang der Ausbaustufen verwirklicht.

Das DLR spielte eine zentrale Rolle bei der Entwicklung der AGEDA-Architektur und ihrer Integration mit anderen Komponenten. In AP 2.1 arbeitete das DLR mit den Konsortialpartnern eng zusammen, um den Systemkontext des AGEDA-Frameworks iterativ zu verfeinern, indem es Stakeholder und externe Schnittstellen identifizierte, definierte und in die Fahrzeugreferenzarchitektur einbettete (siehe Abbildung 8). Es war auch federführend bei der Gestaltung der AGEDA-Architektur und unterstützte die Entwicklung des Traffic-Awareness Edge Service (TAES) und seiner Integrationsmodule. Gleichzeitig wurden Optionen für geforderte Datenräume und Technologien evaluiert, um architektonische Entscheidungen zu treffen und die Anforderungen vom AP 1.2 zu erfüllen. Das DLR trug somit aktiv zur Integration der Demonstratoren bei und stellte sicher, dass die iterativen Implementierungen erfolgreich integriert wurden. Beim Meilenstein M36 leitete das DLR die Diskussionen über die Auswahl eines geeigneten Datenraums, analysierte bestehende Kandidaten und bewertete deren Technologien, Kosten und Integrationsaufwand. Obwohl kein Datenraum die Gaia-X "Loire"-Kriterien erfüllte, wurde ein umfassender Überblick über mögliche Optionen zusammengestellt. Darüber hinaus trug das DLR zur Erstellung eines [externen Whitepapers der Arbeitsgruppe 2.1](#) durch das Einbringen des gesammelten Knowhows in Form von Kommentaren bei und spielte eine zentrale Rolle in 2.1.6 bzgl. externer Smart-City-Daten. Es entwarf einen Fragebogen zur Erfassung von Motivationen, aktuellen Technologien und Zukunftsaussichten in Kontext der Verwendung von Smart-City-Daten, welcher im Anschluss durch die Stadt Braunschweig in einem Interview beantwortet wurde. Ziel war es, Einblicke in die Smart-City-Landschaft Braunschweigs zu bekommen, um mögliche Anwendungen und Auswirkungen auf das AGEDA-Framework zu identifizieren.

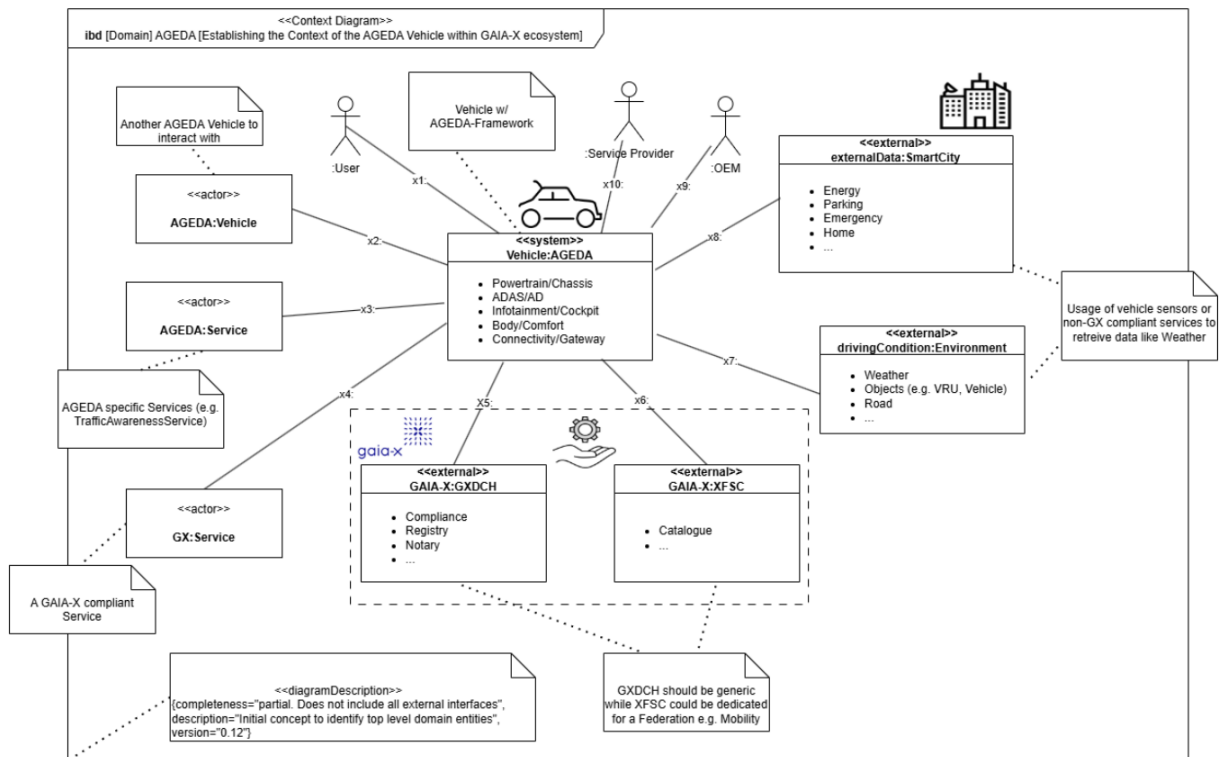


Abbildung 8 Kontextdiagramm, um Schnittstellen für die Fahrzeugreferenzarchitektur zu identifizieren. Das Diagramm folgt der sysML Modelliersprache.

Das DLR hat im AP 2.1 und den damit verbundenen Aufgaben die Grundlage für die AGEDA-Architektur geschaffen, TAES erfolgreich integriert, Demo-Cases realisiert, umfangreiche Datenraum-Analysen durchgeführt und einen Fragebogen entwickelt, um die Smart-City-Datenlandschaft Braunschweigs zu evaluieren. Das DLR konnte die vom Projekt geforderten Arbeiten erfolgreich durchführen.

## AP 2.2 Funktionsausführung

Ziel des Arbeitspakets 2.2 war die Entwicklung von Verfahren zur sicheren Funktionsdekomposition, -allokation und -degradation insbesondere im Hinblick darauf, die Sicherheit in entsprechenden Verifikations- und Validierungsläufen (initial oder nach Updates) nachweisen zu können. Dabei stand insbesondere im Fokus, Sicherheitsargumente so zu strukturieren, dass sie sowohl in initialen Verifikations- und Validierungsprozessen als auch nach Systemupdates oder Rekonfigurationen konsistent und nachvollziehbar geführt werden können. Ein zentrales Ziel war es, Mechanismen zu schaffen, die den sicheren Betrieb auch bei eingeschränkten Ressourcen oder Teilausfällen ermöglichen und dabei eine priorisierte Aufrechterhaltung sicherheitskritischer Funktionen gewährleisten.

Das DLR begann im Oktober 2023 auf Basis der in AP 2.1 erarbeiteten Safety- und Security-Anforderungen mit einer detaillierten Analyse der zugrunde liegenden Software- und Hardware-Architektur sowie der AGEDA-Komponenten. Darauf aufbauend wurden systematische Verfahren zur Funktionsidentifikation, -strukturierung und -zuweisung entwickelt. Ein Schwerpunkt lag auf der Definition robuster Allokationskriterien sowie der Weiterentwicklung eines Feature Trees zur konsistenten Abbildung funktionaler Abhängigkeiten.

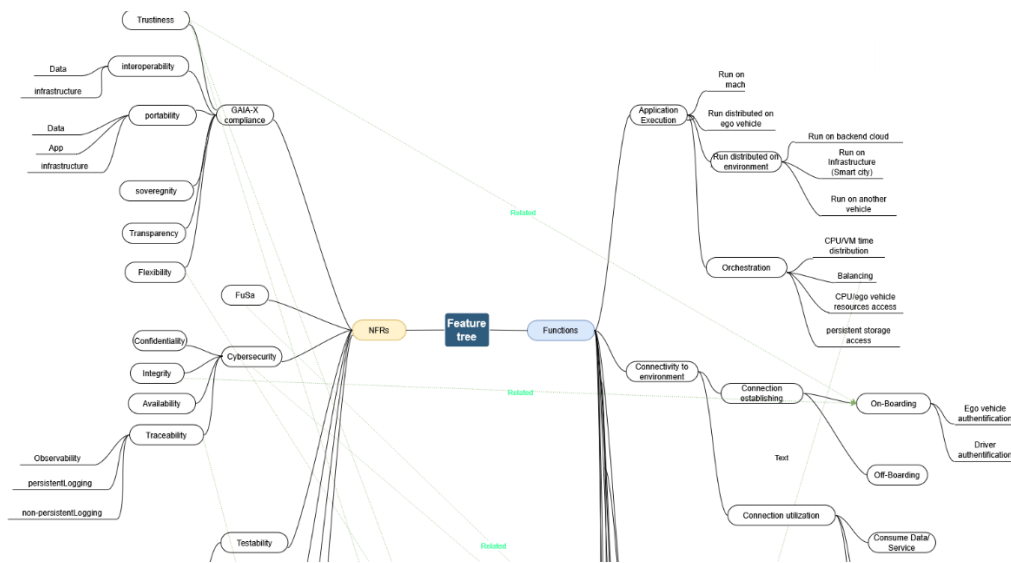


Abbildung 9 Teilausschnitt des Feature Trees

Parallel dazu wurden Degradationsmechanismen als integraler Bestandteil der Sicherheitsarchitektur betrachtet und nicht isoliert, sondern eng gekoppelt an Rekonfigurationsmechanismen diskutiert. In Workshops, insbesondere dem vom DLR organisierten Treffen in Sankt Augustin, wurden diese Konzepte mit den Projektpartnern validiert und weiter verfeinert. In der zweiten Projektphase formalisierte das DLR die Funktionsdegradierung als diskretes Optimierungsproblem, das es erlaubt, bei Ressourcenverlusten eine situationsabhängige Anpassung der Dienstqualität vorzunehmen, ohne sicherheitskritische Funktionen zu kompromittieren.

Als Ergebnis liegen belastbare, dokumentierte Konzepte zur Funktionsdekomposition, -allokation und -degradation vor, die eine konsistente Sicherheitsargumentation über verschiedene Systemzustände hinweg ermöglichen. Diese Ergebnisse bilden die methodische Grundlage für eine strukturierte Überführung der funktionalen Architektur in ein Block Definition Diagram, in dem die identifizierten Funktionen, ihre Allokation auf Systemkomponenten sowie mögliche Degradationspfade formal und nachvollziehbar abgebildet werden können.

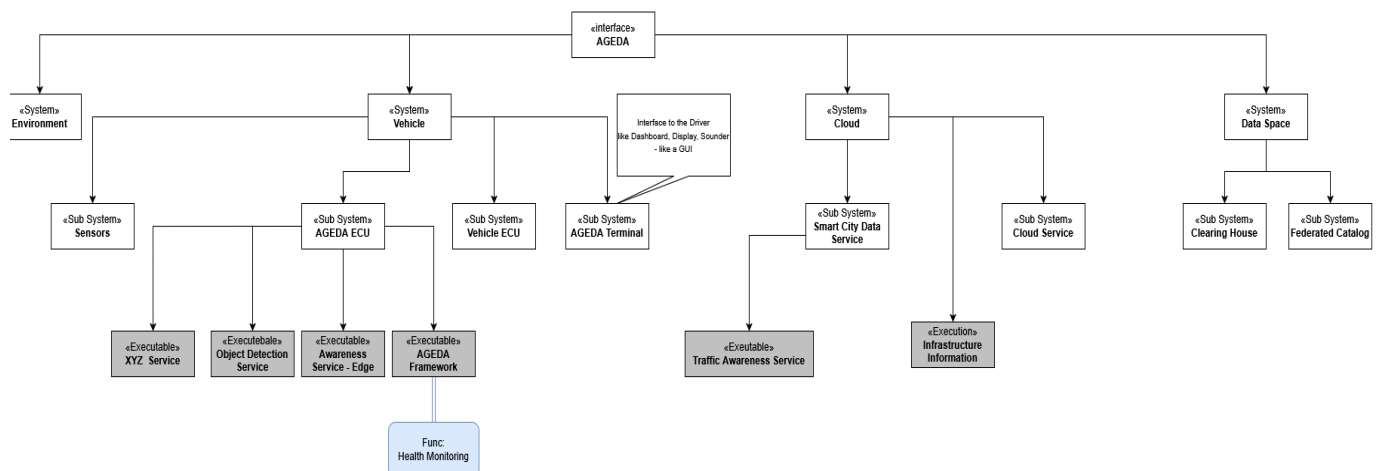


Abbildung 10 Block Definition Diagram der funktionalen Architektur

Damit schaffen die Arbeiten aus AP 2.2 eine wesentliche Voraussetzung für die anschließende Modellierung, Analyse und Absicherung dynamischer Rekonfigurationsprozesse im folgenden Arbeitspaket 2.3.

### **AP 2.3 Dynamische Rekonfiguration**

Aufgabe des Arbeitspakets 2.3 war die Entwicklung von Verfahren zur sicheren Vorbereitung, Durchführung und Absicherung dynamischer Rekonfigurationen in verteilten Fahrzeugsystemen. Ziel war es, sicherzustellen, dass Funktionen auch während Rekonfigurations- und Übergangsphasen korrekt, sicher und nachvollziehbar ausgeführt werden können. Dazu gehörten insbesondere die Analyse benötigter und verfügbarer Capabilities, die Bewertung der Ausführbarkeit von Workloads unter veränderten Systembedingungen sowie die Überprüfung der Validität neuer Zielkonfigurationen. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Absicherung sowohl klassischer softwarebasierter Rekonfigurationsmechanismen als auch KI-gestützter Ansätze, einschließlich Modell-Updates und deren Einbettung in ein übergeordnetes, sicherheitskritisches System.

Das DLR war seit dem Kick-off im August 2023 aktiv in die konzeptionelle und praktische Ausgestaltung der Rekonfigurationsmechanismen eingebunden. Aufbauend auf den Ergebnissen aus AP 2.2 wurden Rekonfigurationskriterien, Übergangsstrategien und Absicherungsmaßnahmen erarbeitet und iterativ verfeinert. In mehreren Workshops und Hackathons brachte das DLR insbesondere Expertise in den Bereichen Health-Monitoring, Service-Claim-Verifikation, Orchestrierung und sichere Nutzer- und Rollenverwaltung ein. Die Integration von Self-Sovereign Identity, OpenID-Bridges und Verifiable Credentials ermöglichte eine sichere Authentifizierung und Autorisierung im Kontext dynamischer Rekonfigurationen. Darüber hinaus beteiligte sich das DLR an der Optimierung von Orchestrations- und Scheduling-Algorithmen, unter anderem durch Benchmarks zur Workload-Verteilung auf verschiedene Rechenknoten sowie durch konzeptionelle Beiträge wie den „Early Hazard Processing Service“, der externe Gefahreninformationen kontrolliert in Rekonfigurationsentscheidungen einbezieht.

Als Ergebnis stehen erprobte Konzepte, Prototypen und Architekturelemente zur Verfügung, die eine sichere und kontrollierte dynamische Rekonfiguration während des Betriebs ermöglichen. Diese Ergebnisse lassen sich unmittelbar in konkrete Ablaufmodelle überführen, wie sie beispielsweise im Activity Diagram „Workload executing in the Cloud“ dargestellt sind.

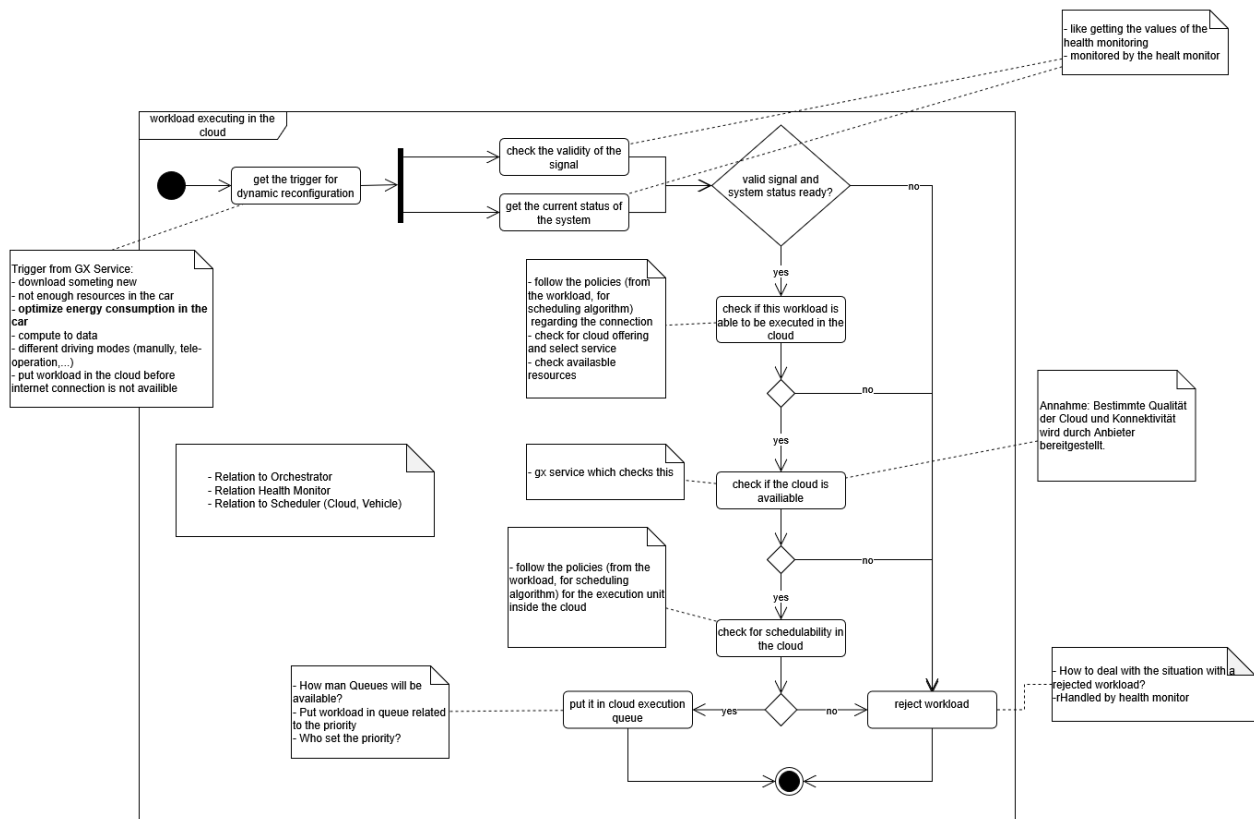


Abbildung 11 Activity Diagram für Workload executing in the Cloud

Dieses Diagramm konkretisiert die in AP 2.3 entwickelten Entscheidungs- und Prüfprozesse – von der Auslösung einer Rekonfiguration über Validitäts- und Ressourcenprüfungen bis hin zur Ausführung oder Ablehnung eines Workloads und stellt damit eine anschauliche Brücke zwischen Architektur, Sicherheitslogik und operativer Systemausführung dar. Auf dieser Basis können zukünftige Arbeiten die Rekonfigurationsmechanismen weiter validieren, automatisieren und auf komplexere Szenarien sowie KI-basierte Workloads erweitern.

### AP 3.1 Entwicklung

Die AGEDA Architektur macht es möglich, Fahrzeugfunktionen künftig viel leichter softwareseitig einzubinden – sowohl vor dem Erstsarvice als auch nachträglich in den After Sales Phasen. Das AP 3.1 lieferte die Methoden und Werkzeuge, die Entwickler brauchen, um solche Funktionen sicher, robust, realtimefähig und safetykonform zu implementieren und nachzuweisen.

Zur Entwicklung von Software- und Hardware-Komponenten, ist die Anwendung von Methodiken zur Identifizierung und Evaluierung von Risiko- und Sicherheitsanforderungen essentiell. Hierfür wurde im AP entsprechende Methoden vom DLR identifiziert und für den AGEDA-Kontext adaptiert. Konkret führt das DLR Automationsrisikenmethoden ein und adaptierte sie auf den CVC Demonstrator. Dieser Ansatz kombinierte Top-Down- und Bottom-Up-Analysen unter Verwendung klassischer Gefahrenanalysetechniken wie HAZOP. Der Top-Down-Durchlauf generierte eine Liste von Gefahren (siehe Abbildung 12 als Beispiel), die dann mit in einem Bottom-Up Verfahren identifizierten Ausfällen, Fehlfunktionen oder Funktionsmängeln auf Komponentenebene (siehe Abbildung 13 als Beispiel) des AGEDA-Prototyps verknüpft wurden. Das DLR führte diese Analyse wiederholt für jede Iteration des CVC-Demofalls durch und dokumentierte die Ergebnisse und die daraus abgeleiteten Sicherheitsanforderungen im Confluence des Projekts. In enger Zusammenarbeit mit HSHL wurden die ermittelten Sicherheitsanforderungen dann in Smart Contracts übersetzt, die in AP 3.1.1 integriert

wurden, um die erforderlichen Sicherheitseigenschaften umzusetzen. Schließlich wurden die Ergebnisse dieser Analyse im AP 1.1 verwendet, um dort Spezifikationen und Anforderungen zu erstellen. Auf diese Weise haben die Beiträge des DLR in AP 3.1 nicht nur einen strengen, wiederholbaren Risikoanalyseprozess für die CVC-Demo Cases bereitgestellt, sondern auch dazu beigetragen, solche Methodiken im AGEDA-Framework zu verankern.

ID	Basic Scenario	Basic Maneuver	Correct if (Context)	Deviation	Incorrect Behavior	Observable Behavior in Scenario	Additional Scenario Conditions necessary for TLE	Top Level Event (TLE)
1	Ego makes right turn at an intersection	Decelerate (braking)	Distance ahead (to object) < Safety Distance	no	necessary brake maneuver not initiated	Driver does not notice the pedestrian and Ego continues to drive constantly or Driver notices pedestrian after turn but applies brakes too late	pedestrian (occluded or out of the field of view of the EGO) crossing the street	Front collision with pedestrian
2				less	necessary brake maneuver not sufficiently applied	Driver does not notice the pedestrian and Ego insufficiently applies brakes or Driver notices pedestrian after turn but applies brakes too late	pedestrian (occluded or out of the field of view of the EGO) crossing the street	Front collision with pedestrian

Abbildung 12 Auszug der Gefahrenanalyse, welche vom DLR durchgeführt wurde.

Actor	Functional Unit	Requirement mapping	Function			Relevant computation	Keyword	Local Failure/functional insufficiency	Basic Scenario	System effect in scenario	Incorrect Vehicle Behavior	Relevant TLE-ID	System Cause	Environment Trigger	Other Factors
			Input	Computation	Output										
EGO	TAES Ego	CVC-12-SC3-UCDS - Trigger of TA Edge Service	GPS	1. The location based service component of the TAES which is already running from CVC-12-SC1-UCDS detects that the vehicle is now inside a Traffic Awareness Area (TAA). 2. The location based service component of the TAES sends a trigger to start all other services from the TAES. 3. The vehicle checks if all criteria for startup of remaining TAES are met. 4. The Vehicle starts remaining TAES. 5. The Vehicle and the TAG verify the corresponding VCA. 6. The Vehicle indicates that the TAES is fully functional.	Trigger signal	1	No	Ego does not detect that it is inside TAA	Decelerate (braking)	Since TAES does not determine entry into TAA correctly, consequent TAES steps are not triggered. Ego Driver does not react to pedestrian	necessary brake maneuver not initiated	1	1. No GPS signal provided 2. SW malfunction; TAES does not correct determine it is in TAA	- Satellite signal blockage due to buildings, bridges, trees, etc. - Major solar storms	- Radio interference or jamming - Satellite maintenance/maneuvers creating temporary gaps in coverage
						1	too late	Ego identifies that it is inside the TAA too late	Decelerate (braking)	Ego delayed awareness that it is inside TAA -> Delayed triggering of consequent steps -> delayed information of pedestrian to TAES -> delayed brake signal from TAES to vehicle HMI - Ego driver does not react to pedestrian	necessary brake maneuver initiated too late or insufficient brake maneuver	2.5	1. Delayed GPS input 2. SW malfunction	- Satellite signal blockage due to buildings, bridges, trees, etc. - Major solar storms	- Radio interference or jamming - Satellite maintenance/maneuvers creating temporary gaps in coverage
						6	Too late	Ego vehicle indicates the TAES is functional too late	Decelerate (braking)	Ego will receive delayed information from the TAES about the hazard. Driver might not react to the hazard in time	necessary brake maneuver initiated too late or insufficient brake maneuver		1. Race conditions 2. Internal software malfunction 3. Connectivity delays	- Satellite signal blockage due to buildings, bridges, trees, etc. - Major solar storms	- Radio interference or jamming - Satellite maintenance/maneuvers creating temporary gaps in coverage
						6	No	Ego does not indicate the TAES is fully functional	Decelerate (braking)	Ego may get delayed information from the TAES about the hazard and driver might not react to the hazard in time	necessary brake maneuver initiated too late or insufficient brake maneuver		1. Race conditions 2. Internal software malfunction 3. Connectivity delays	- Satellite signal blockage due to buildings, bridges, trees, etc. - Major solar storms	- Radio interference or jamming - Satellite maintenance/maneuvers creating temporary gaps in coverage

Abbildung 13 Auszug der Komponentenanalyse, welche vom DLR durchgeführt wurde.

Das DLR hat somit in diesem Arbeitspaket Methodiken zur Identifizierung und Evaluierung von Risiko- und Sicherheitsanforderungen auf dem CVC-Demonstrator angewendet und somit zweierlei Ergebnisse erzielt. Zum einen konnten geeignete Methodiken für die Entwicklung von Systemen für Cloud-basierte Sicherheitsfunktionen oder der AGEDA-Architektur beschrieben werden. Zum anderen trug die Anwendung dieser Methodiken auf den CVC-Demonstrator dazu bei, dessen Anforderungen und Beschreibung zu verbessern. Diese Ergebnisse wurde im Projekt-Confluence dokumentiert und somit den Projektpartnern zur Verfügung gestellt. Durch die Methodiken der Risiko- und Sicherheitsanalyse für (KI-basierte) Softwarefunktionen für deren Verifizierung- und Validierung wurde das Ziel des AP 3.1 erfüllt.

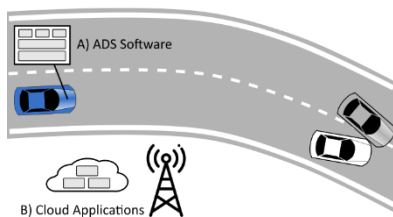
### AP 3.2 Betrieb

Automated Driving Systems (ADS) sind zunehmend auf kontinuierliche Softwareevolution angewiesen. Da Softwarekomponenten über längere Zeiträume und in sich verändernden Umgebungen betrieben werden, wird es essenziell zu erkennen, wann Aktualisierungen, Neukalibrierungen oder Neukonfigurationen erforderlich sind. Ziel dieses Arbeitspakets ist es, Methoden und Werkzeuge zu untersuchen und zu entwickeln, um solche Bedürfnisse während der Laufzeit cloud- und edge-basierter sicherheitskritischer Funktionen und Dienste zu erkennen. Eine zentrale Aktivität des Arbeitspakets ist die Entwicklung von Konzepten, die die Überwachung und Aktualisierung sicherheitsrelevanter Eigenschaften während des Betriebs ermöglichen.

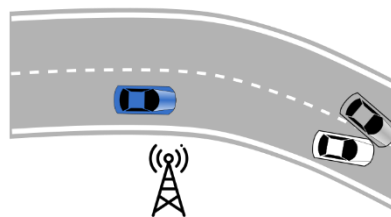
Die Aktivitäten in diesem Arbeitspaket konzentrierten sich zunächst darauf, wie Softwareupdates während des Betriebs sicher durchgeführt werden können, indem die Kompatibilität neuer Komponentenversionen mit bestehenden Systemanforderungen geprüft wird. Außerdem identifizierte das DLR geeignete Laufzeitüberwachungsmethoden, um zu beobachten, ob AGEDA-

Softwarekomponenten während des Betriebs weiterhin wie erwartet funktionieren. Dies umfasst Zeit- und Ressourcenüberwachung sicherheitskritischer Funktionen sowie szenariobasierte Überwachung des automatisierten Fahrverhaltens. Zeit- und Ressourcenmonitore spielen eine wichtige Rolle, wenn voneinander abhängige sicherheitskritische Funktionen auf Cloud- und Edge-Geräte verteilt sind (siehe A, B in der folgenden Abbildung), während szenariobasierte Überwachung notwendig ist, um das resultierende Fahrverhalten des automatisierten Fahrzeugs (das die verteilten Komponenten realisieren) zu überprüfen (siehe die Abfolge der Aktionen in Abbildung 14).

1. The Automated Driving System (ADS) is operating in normal state.



2. An AGEDA cloud application that is aware of a hazard ahead of ADS, triggers Minimum Risk Maneuver (MRM) on ADS.



3. After AGEDA cloud application triggers MRM, the ADS stops before the hazard.

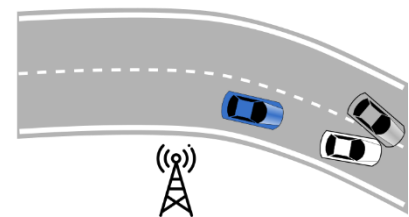


Abbildung 14 Die Sequenz zeigt die ADS-Softwarekomponente (A) im Normalbetrieb. Eine AGEDA-Cloud-Anwendung (B) erkennt eine Gefahr und löst das Minimum Risk Maneuver (MRM) aus. Dies führt dazu, dass das ADS sicher vor der Gefahr zum Stillstand kommt.

### Update-Konzepte und -Mechanismen

Als ersten Schritt konzentrierte das DLR sich darauf, wie Softwareupdates während des Betriebs sicher durchgeführt werden können. Die Notwendigkeit einer robusten Update-Verifikation wurde identifiziert, insbesondere im Hinblick auf die Herausforderung, externe Daten oder Signale aus Cloud-Diensten zu handhaben, die sicherheitskritische ADS-Funktionen beeinflussen können. Um die unterschiedlichen sicherheitsrelevanten Auswirkungen solcher externen Daten systematisch zu adressieren, etablierte das DLR eine Klassifikation auf Basis des Einflussgrads externer Komponenten auf das ADS. Diese Klassifikation war essenziell für die Strukturierung der notwendigen Überwachungs- und Update-Konzepte. Das Ergebnis war die Unterscheidung von drei Impact-Leveln, die in Tabelle 1 zusammengefasst sind.

Diese Klassifikation hilft dabei, um die richtige Updatestrategie zu definieren. Der Informationale Level war für die in diesem Arbeitspaket betrachteten Updatekonzepte nicht relevant, da externe Softwarekomponenten auf dieser Ebene das sicherheitskritische Verhalten nicht beeinflussen.

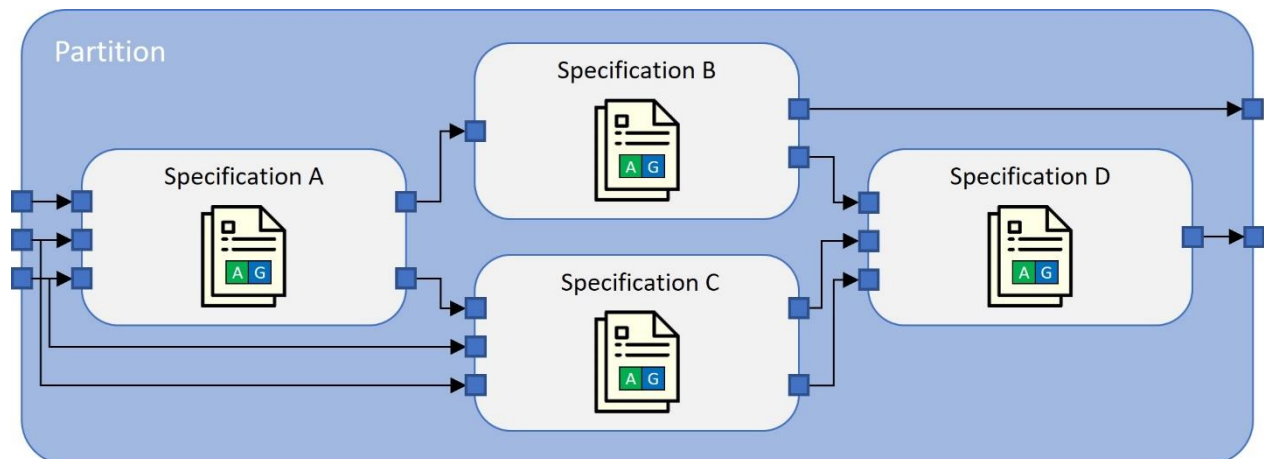
Für das Advisory Level sind Updates kritischer als auf dem Informationale Level. In diesem Fall könnten Updates externer Dienste sicherheitsrelevante Parameter wie Datenlatenz, Ausfallraten oder Unsicherheitsabschätzungen verändern.

Für das Supervisory Level, bei dem eine Cloud-Komponente direkt sicherheitskritische ADS-Funktionen steuern soll, gibt es den Bedarf für einen formalen Update-Mechanismus. Für dieses höchste Impact-Level ist jedes Update eines externen Dienstes ein Sicherheitsrisiko und erfordert das restriktivste Update-Framework, beispielsweise formale Kontrakte oder die Beschränkung von Updates auf Anbieter mit zertifizierbaren Updateprozessen.

Ebenen des Einflusses	Beschreibung	Beispiel	Auswirkung
<b>Informational Level</b>	Das System stellt nicht-kritische Informationen für den Fahrer oder das ADS bereit, beeinflusst jedoch ADS-Entscheidungen nicht direkt.	Anzeige von Wetterbedingungen, Straßenarbeitswarnungen oder Verkehrshinweisen auf einer Schnittstelle.	Gering
<b>Advisory Level</b>	Externe Daten werden genutzt, um ADS-Entscheidungen zu beeinflussen, aber das ADS behält die Autonomie, ob es der Empfehlung folgt.	Empfohlene Geschwindigkeit basierend auf Verkehrsfluss, Vorschläge für Spurwechsel für flüssigeres Fahren oder Beratung zu energieeffizienten Routen.	Mittel
<b>Supervisory Level</b>	Das ADS ist für einen sicheren Betrieb von externen Signalen abhängig. Externe Signale haben direkte Kontrolle über sicherheitskritische ADS-Funktionen.	Auslösen von Emergency Braking oder MRM aufgrund einer Entscheidung eines Cloud-Dienstes.	Hoch

*Tabelle 1 Klassifizierung externer Daten und Dienste anhand ihrer Auswirkung auf das ADS.*

Zur Verwaltung von Updates auf allen relevanten Ebenen wurde ein Kontrakt-basierter Ansatz vorgeschlagen, der strukturierte Beschreibungen für jede Komponente umfasst. Diese Beschreibungen enthalten Ressourcenbedarf, Zeitverhalten und Schnittstellen zu anderen Systemteilen (siehe Abbildung 15). Dieser Ansatz erlaubt es, im Voraus zu prüfen, ob eine neue Komponentenversion mit dem restlichen System kompatibel ist.



*Abbildung 15 Komponentenarchitektur unter Verwendung von „Assume/Guarantee“- Kontrakten zur Kompatibilitätsprüfung. Die Systemkomponenten (Spezifikationen A, B, C und D) innerhalb der Partition werden durch strukturierte Beschreibungen oder Kontrakte beschrieben. Diese Kontrakte enthalten detaillierte Angaben zu Eigenschaften wie Ressourcenbedarf, zeitlichen Merkmalen und Schnittstellen, sodass das System im Voraus prüfen kann, ob eine neue Komponentenversion mit dem Rest des Systems kompatibel ist.*

Um diese Updates sicher bereitzustellen, können virtuelle Integrationstests verwendet werden, in denen aktualisierte Komponenten vor der Bereitstellung bewertet werden. Das Update wird nur akzeptiert, wenn die erforderlichen Zeit- und Ressourcenbeschränkungen erfüllt sind und alle Schnittstellen den erwarteten Definitionen entsprechen. Abbildung 16 zeigt diesen Prozess schematisch. Ein modularer Architekturansatz unterstützt diese Anwendung. Isolationsmechanismen wie Partitionierung oder kontrollierte Ressourcenteilung verhindern die Ausbreitung von Fehlern.

Diese Mechanismen ermöglichen es, aktualisierte Komponenten sicher auf gemeinsamen Plattformen zu betreiben, ohne den Betrieb anderer Module zu beeinträchtigen.

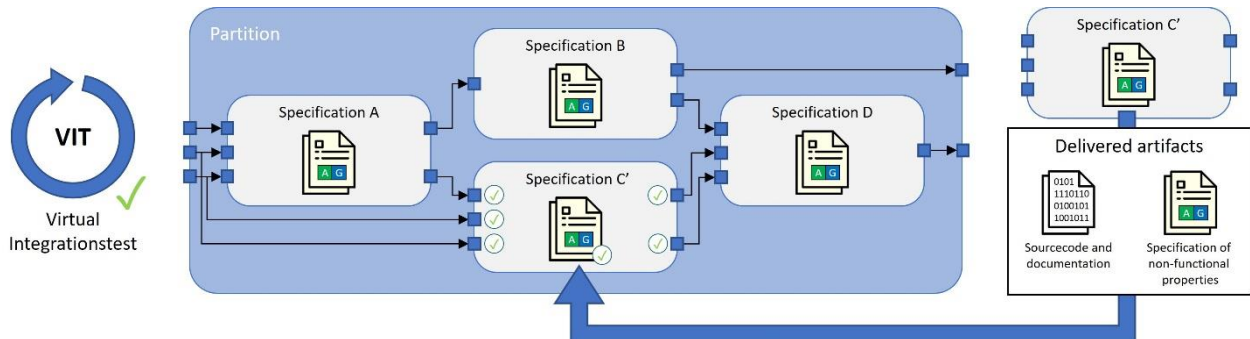


Abbildung 16 Sicherer Aktualisierungsprozess für eine AGEDA-Komponente (C' ist eine Aktualisierung von C). Die vorgeschlagene Aktualisierung der Komponente C wird durch einen virtuellen Integrationstest (VIT) bewertet. Dieser Test überprüft die Kompatibilität der neuen Komponentenversion, indem er sicherstellt, dass die erforderlichen Zeit- und Ressourcenbeschränkungen gegenseitig erfüllt sind und dass alle Schnittstellen den erwarteten Definitionen entsprechen.

Die vorgeschlagenen Updatekonzepte für AGEDA-Softwarekomponenten konzentrieren sich somit auf zwei Ziele: die Kompatibilität neuer Komponenten vor der Bereitstellung zu verifizieren und sicherzustellen, dass das System auch nach einem Update weiterhin sicher funktioniert. Laufzeitüberwachung ermöglicht es, diese Kompatibilität während des Betriebs kontinuierlich zu überprüfen.

### Run-time Monitoring

Die schrittweise Einführung neuer Komponentenversionen erfordert geeignete Überwachungstechniken. Diese lassen sich in zwei Klassen einteilen, je nach überwachten Eigenschaften:

- (i) Zeit- und Ressourcenüberwachung, die sich auf extra-funktionale Eigenschaften wie Ausführungszeit, Ressourcenverbrauch oder Cloud-Konnektivität konzentriert, und
- (ii) Szenarioüberwachung, die das resultierende Systemverhalten in Fahrsituationen bewertet.

### Zeit- und Ressourcenbeschränkungen

Laufzeitüberwachung von Zeit- und Ressourcenparametern dient als primärer Mechanismus, um das sichere Verhalten von Softwarekomponenten während des Betriebs sicherzustellen. Ziel ist es, zu beobachten, ob zeitliche, ressourcenbezogene und andere extra-funktionale Eigenschaften innerhalb der spezifizierten Grenzen bleiben. Werden die Grenzwerte nicht eingehalten, gibt der Monitor eine Benachrichtigung aus, die zum Auslösen von Sicherheits-Fallbacks genutzt werden kann.

Diese Überwachung wurde als kritisch identifiziert, da die AGEDA-Architektur Cloud-basierte Softwarekomponenten umfasst, die sicherheitskritische Fahrzeugfunktionen steuern. Aufgrund der verteilten Natur dieser sicherheitskritischen Softwarekomponenten ist kontinuierliche Überwachung essenziell, um sicherzustellen, dass Cloud-Dienste zuverlässige Unterstützung bieten können, auch wenn sich das System weiterentwickelt.

Die Definition der Grenzen folgt den oben genannten Kontrakten. Für eine Komponente in der AGEDA-Architektur auf dem Fahrzeug (Fall (A) in

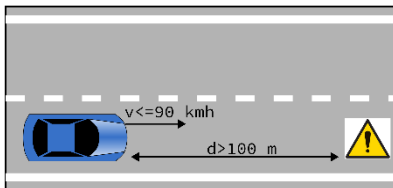
Abbildung 14) enthalten diese Kontrakte Annahmen über die zeitliche Verfügbarkeit von Eingangsdaten und Zusicherungen zur Bereitstellung der zugehörigen Ausgabedaten mit maximaler Verzögerung, ggf. unter Berücksichtigung von Speicherverbrauch. Für Fall (B) in

Abbildung 14 (Fahrzeug hängt von Berechnungen und Daten aus der Cloud ab), insbesondere bei Anwendungen auf Supervisory Level, enthalten die Kontrakte Annahmen über die Verfügbarkeit oder Aktualität von Kommandos und garantieren entsprechende Fahrzeugreaktionen. Die Software zur Realisierung dieser Überwachungsfunktionalität folgt bestehenden Verfahren.

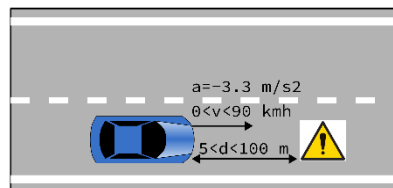
### Abstrakte Szenariospezifikationen

Eine weitere Klasse der Überwachung sind szenariobasierte Monitoring-Konzepte, die prüfen sollen, ob das endgültige Verhalten des ADS in verschiedenen Fahrmanövern wie erwartet auftritt. Beispielsweise darf eine aktualisierte Komponentenversion das sichere Fahrverhalten eines ADS nicht verändern. Dies wird über szenariobasierte Überwachung mittels formaler Spezifikationen von Fahrmanövern überprüft, etwa durch Traffic Sequence Charts (TSC). Abbildung 17 zeigt ein Gefahrenausweichszenario für ein Fahrzeug, das Gefahreninformationen aus der Cloud erhält und auf dem Advisory Level arbeitet.

1. ADS operating in normal state, receives a signal from an AGEDA cloud application that a Hazard exist 100 meter ahead.



2. AGEDA cloud application triggers MRM and therefore ADS decelerates moderately.



3. ADS stops at a safe distance before the Hazard.

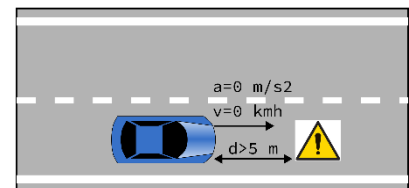


Abbildung 17 Szenario zur Gefahrenvermeidung, formalisiert mit einem Verkehrsablaufdiagramm (TSC). Das Szenario, das für ein Fahrzeug auf Advisory Level dargestellt ist, beschreibt das erwartete sichere Verhalten, wenn eine Gefahr von der Cloud erkannt wird.

Die Software zur Realisierung dieser Überwachungsfunktionalität für abstrakte Szenariospezifikationen folgt bestehenden Verfahren (siehe z. B. Stemmer, Saxena et al., 2025).

Gemeinsam ermöglichen diese Techniken eine mehrstufige Überwachung des Systems – von interner Verarbeitung über Kommunikationsverzögerungen bis hin zum Fahrverhalten. Diese Überwachungsfähigkeit ermöglicht es, Abweichungen zu erkennen, die durch Updates, Neukalibrierung oder Neukonfiguration entstehen können. Damit stellt sie einen notwendigen Schritt zur Validierung des Updateprozesses dar.

### AP 3.3 Zertifizierung

Das Ziel dieses Arbeitspakets ist es, bestehende Ansätze zur Verifikation und Validierung um Aspekte der dynamischen Verteilung sicherheitskritischer Fahrzeugfunktionen zwischen Fahrzeug und Cloud (dynamische Rekonfiguration, Funktionszerlegung und -allokation) in Kombination mit Updates zu erweitern.

Die Hauptmotivation dieses Arbeitspakets besteht darin sicherzustellen, dass Zertifizierbarkeit berücksichtigt wird, bevor architektonische Entscheidungen bzgl. der Allokation von Funktionalität zwischen Fahrzeug und Cloud finalisiert werden. Andernfalls besteht das Risiko, dass cloud- oder edge-basierte Funktionalitäten mit Sicherheitszertifizierungsprozessen unvereinbar werden, die traditionell von einem isolierten In-Vehicle-System ausgehen. Dieses Arbeitspaket untersuchte, wie externe oder cloudbasierte Daten in Automated Driving Systems (ADS) so integriert werden können, dass sie weiterhin zertifizierbar bleiben und mit bestehenden Automobil-Sicherheitsstandards

übereinstimmen. In diesem Zusammenhang wurden analysiert, wie die architektonischen Entscheidungen im AGEDA-Projekt die Fähigkeit beeinflussen, Sicherheit nachzuweisen, wenn ADS auf Informationen außerhalb des Fahrzeugs angewiesen sind. Darüber hinaus wurde untersucht, wie sich Zertifizierungsanforderungen ändern, wenn das Verhalten eines ADS durch Daten beeinflusst wird, die über V2X-Kommunikation oder über Data-Space-Infrastrukturen, wie Gaia-X, empfangen werden.

#### *Sicherheitsimplikationen der Verwendung externer Daten*

Das DLR hat verschiedene Arten, wie externe Daten und Dienste ein ADS beeinflussen können, und welche Zertifizierungsimplicationen sich aus den jeweiligen Einflussgraden ergeben, analysiert. Wir unterscheiden drei Einflussstufen: solche, die rein informativ bleiben, solche, die beratend wirken und ADS-Entscheidungen beeinflussen können, und solche, die supervisory wirken und direkt sicherheitskritische Aktionen beeinflussen (siehe Tabelle 1).

Diese Struktur wurde eingeführt, um zu klassifizieren, wo AGEDA-Funktionen hinsichtlich des Zertifizierungsaufwands einzuordnen sind. Die Analyse zeigte, dass informational und advisory genutzte externe Daten weiterhin mit heutigen Zertifizierungsgrenzen kompatibel bleiben, da die bordeigenen Sensoren und Steuergeräte eines ADS nach wie vor volle Kontrolle über das sicherheitskritische Verhalten behalten. Supervisory Nutzung hingegen würde grundlegend neue Zertifizierungsargumente erfordern, da Sicherheitsfunktionen von externen (Cloud-)Komponenten abhängig wären. Außerdem stellte das DLR fest, dass das Supervisory Level viele neue sekundäre Gefahren mit sich bringen kann, die in einem Safety Case berücksichtigt werden müssen.

Das Arbeitspaket führte zudem eine Bewertung der Auswirkungen auf den Safety Case durch. Der Fokus lag darauf, wie externe Daten die frühzeitige Gefahrenidentifikation verbessern können, wie Datenunzuverlässigkeit adressiert werden muss und wie das ADS reagieren muss, wenn die externen Informationen nicht mehr verfügbar sind. Diese Aktivitäten führten zu einem Verständnis von architektonischen Einschränkungen, die es erlauben, externe Daten zu integrieren, ohne Zertifizierungsannahmen zu verletzen. Dieses Verständnis diente wiederum als Grundlage für die detailliertere Arbeit im nächsten Unterabschnitt.

#### *Beispiel: Early Hazard Processing System (EHPS)*

Wir entwickelten ein konkretes Architekturkonzept für eine Funktionalität, um zu untersuchen, wie ADS von externer Gefahreninformation profitieren können, ohne die Zertifizierbarkeit zu beeinträchtigen. Zu diesem Zweck wurde das Early Hazard Processing System (EHPS) sowie die entsprechende Erweiterung des ADS-Verhaltens eingeführt. Abbildung 18 zeigt dieses Architekturkonzept.

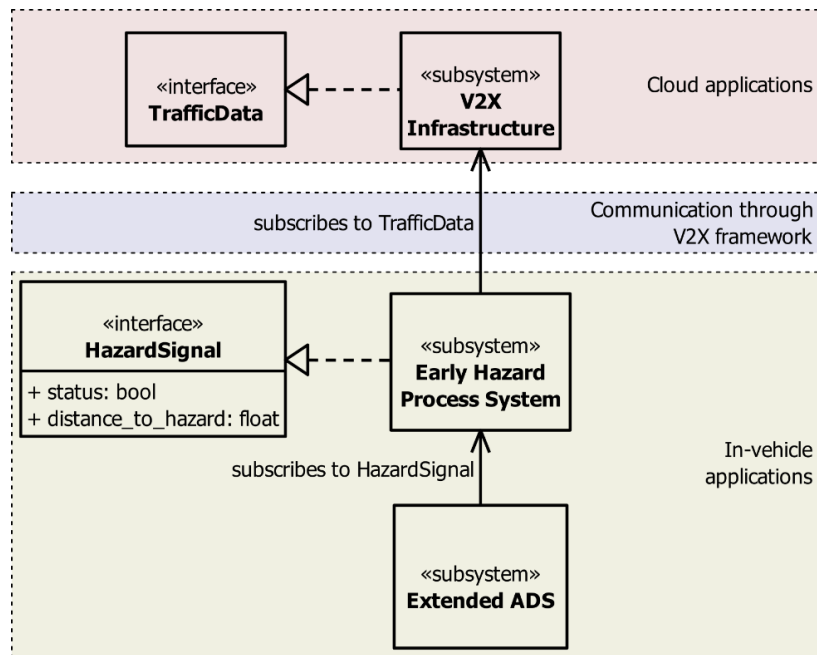


Abbildung 18 Die Architektur des Early Hazard Processing System (EHPS) und seine Verbindung zu Cloud-Anwendungen und dem Extended ADS.

Das EHPS schafft einen Mechanismus, der es einem ADS ermöglicht, potenziell unzuverlässige oder unvollständige externe Gefahreninformationen so zu nutzen, dass Sicherheit und Komfort verbessert werden. Dafür entwickelte das DLR eine Verhaltenserweiterung, bei der das ADS in einen vorbereitenden Cautious State übergeht, sobald das EHPS eine potenzielle Gefahr meldet. In diesem Zustand reduziert das ADS Geschwindigkeit und vermeidet unnötige Manöver, ohne jedoch sicherheitskritische Aktionen einzuleiten. Alle sicherheitskritischen Maßnahmen bleiben an interne Sensorik und bestehende Fallback-Mechanismen gebunden. Das Modell ist als State-Machine formalisiert, dargestellt in Abbildung 19.

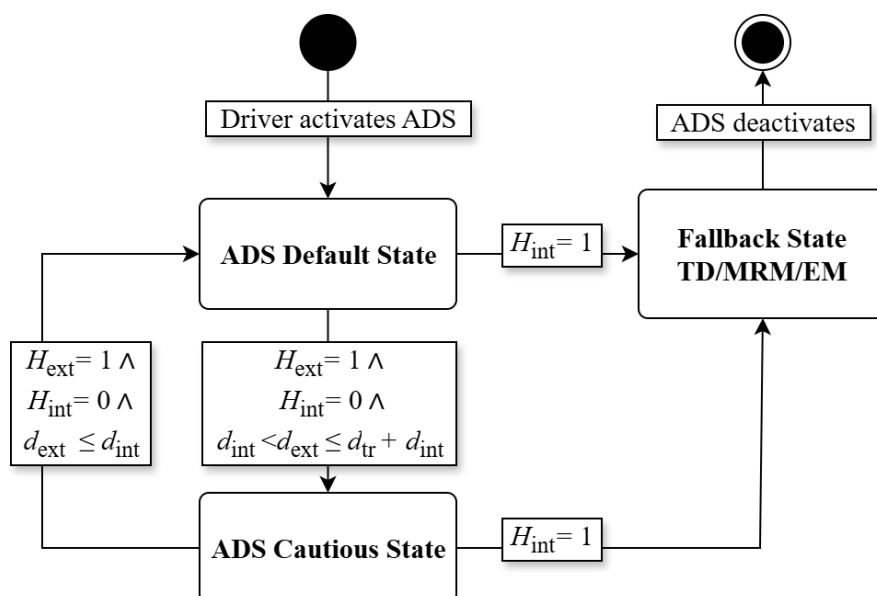


Abbildung 19 State-Machine-Modell für die ADS-Verhaltens Erweiterung unter Einbeziehung des EHPS. Dieses formalisierte Modell veranschaulicht, wie das ADS bei Empfang eines externen Gefahren-Signals zwischen seinem ADS-Standardzustand und einem vorbereitenden ADS-Vorsichtszustand wechselt.

Die zentrale Aktivität bestand darin, den Ansatz anhand eines formalen und zertifizierbaren Zustandsautomaten zu demonstrieren, ergänzt durch die analytische sicherheitstechnische Argumentation, dass diese Erweiterung die baseline Safety nicht reduzieren kann – selbst wenn externe Daten unzuverlässig sind. Dieses Argument wurde durch eine systematische Analyse aller Unsicherheitsfälle entwickelt, darunter fehlende, fehlerhafte oder falsch gemeldete Gefahreninformationen. In jedem Fall konnte das DLR zeigen, dass das ADS entweder genau wie das Basissystem agiert oder von den externen Informationen profitiert, ohne neue Risiken einzuführen.

Das konzeptionelle Modell wurde mithilfe des Automated Lane Keeping System (ALKS) als zu testendem System validiert. Die Bewertung zielte darauf ab nachzuweisen, dass EHPS den Gesamtkomfort und die Sicherheit verbessert, selbst wenn externe Daten unzuverlässig sind. Das DLR testete das ALKS in der CARLA-Simulationsumgebung (siehe Abbildung 20) in einem kritischen Szenario, in dem es zur Laufzeit mit einer Gefahr konfrontiert wurde, die sich zunächst außerhalb des Sichtbereichs des Fahrzeugs befindet aber frühzeitig als externe Information aus dem Data-Space zur Verfügung gestellt wird.



*Abbildung 20 Eine Momentaufnahme aus einem Fahrszenario. Hinter der Kurve befindet sich eine Gefahr (stehender Verkehrsteilnehmer), die vom ALKS erst erkannt wird, wenn sie sich in seinem Sensorbereich befindet.*

Die Ergebnisse, dargestellt in Abbildung 21, bestätigten, dass das mit EHPS ausgestattete ALKS den Komfort durch frühzeitig leicht reduzierte Geschwindigkeit signifikant verbesserte, selbst wenn die externen Gefahreninformationen unzuverlässig waren.

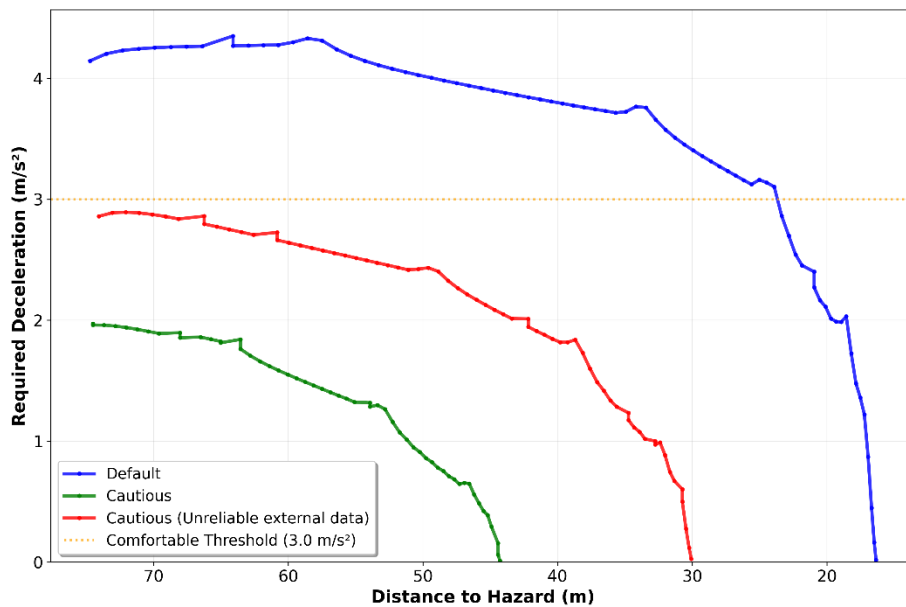


Abbildung 21 Die erforderliche Verzögerung zum Anhalten vor einer Gefahr verringert sich bei ALKS, die EHPS-Daten verwenden.

Das EHPS-Beispiel liefert somit ein konkretes Beispiel dafür, wie zertifizierbare Nutzung externer Daten realisiert werden kann. Es diente zudem als Evidenz zur Unterstützung der Konzepte für (Re-)Zertifizierung cloud- und edge-basierter Funktionen, da es zeigt, wie eine externe Funktion mit sicherheitskritischen Komponenten interagieren kann, ohne sicherheitsrelevante Verantwortung vom ADS zu übernehmen. Diese Arbeit wurde zur Veröffentlichung auf der Intelligent Vehicles Conference 2026 eingereicht.

#### AP 4.1 Projektkoordination

Das Ziel des Arbeitspakets war es, die internen Arbeiten zu koordinieren sowie die projektinterne Abstimmung mit den Projektpartnern zu gewährleisten. Weitere Ziele waren die Teilnahme/Durchführung von Projekttreffen sowie die Leitung des Collective Vision Use Cases.

Das DLR hat im Rahmen der Arbeiten im Arbeitspaket typische Projektmanagement-Tätigkeiten durchgeführt. So wurden u.a. geeignete DLR interne Regelmeetings durchgeführt, in der administrative und fachliche Themen diskutiert wurden. Gesprächsnotizen sind dabei im DLR eigenen Confluence festgehalten und bei Bedarf an das Projekt Konsortium weitergetragen worden. Zudem hat das DLR an den projektweiten Abstimmungsterminen teilgenommen und Themen an die fachlichen DLR-Kollegen kommuniziert.

Des Weiteren hat das DLR im Mai 2023 ein Projekttreffen am Braunschweiger Standort geplant und organisiert. Dabei wurden den Teilnehmern u.a. die für die Demonstration angedachten Versuchsträger bzw. die angedachten Anlagen vorgestellt. Darüber hinaus hat das DLR, ebenfalls in Braunschweig, zwei einwöchige Hackathons organisiert, in denen jeweils Integrationen und Versuche für die Demonstration des Collective Vision Use Cases durchgeführt worden sind.

#### **AP 4.2 Vernetzung**

Das DLR hatte die Gesamtkoordination der Projektfamilie GAIA-X 4 Future Mobility inne. Über diese Funktion hat das DLR insbesondere eine Vernetzung dieses Projektes mit den weiteren Projekten der Projektfamilie vorgenommen. Hierzu wurden verschiedene Austauschformate umgesetzt und diverse Events durchgeführt. Auch klassische Formate wie Messen und Konferenzen wurden zum Austausch und zur Darstellung der Projektergebnisse genutzt. Das DLR übernahm über den gesamten Projektverlauf hinweg die zentrale Steuerungsfunktion und stellte durch regelmäßige Abstimmungsrunden, Fachgruppenkoordination und einen strukturierten Austausch mit den Projektkoordinatoren aller Schwesterprojekte eine konsistente Ausrichtung der Projektfamilie sicher. Dies umfasste sowohl die Leitung der strategischen Weiterentwicklung einschließlich der Identifikation relevanter Problemfelder und der Einleitung geeigneter Lösungsprozesse, als auch die kontinuierliche Sicherstellung der Verwertungsorientierung der Projektergebnisse.

Die erfolgreiche Durchführung mehrerer zentraler Veranstaltungen und Messeauftritte trug wesentlich zur Sichtbarkeit und zur Vernetzung der Projektfamilie bei. Hervorzuheben sind insbesondere die Organisation und Betreuung des gemeinsamen Auftritts auf der Hannover Messe 2024, einschließlich der umfassenden Koordination des 75-m<sup>2</sup>-Messestands, der Erstellung des Base-X-Imagefilms sowie der fachlichen und organisatorischen Vorbereitung des Standpersonals. Darüber hinaus wurden strategische Kooperationen aufgebaut, darunter ein Memorandum of Understanding mit der Stadt Daegu und vertiefte Abstimmungen mit weiteren Kommunen wie Hamburg. Ergänzend organisierte das DLR repräsentative Auftritte der Projektfamilie auf internationalen und nationalen Veranstaltungen, u. a. auf dem Gaia-X Summit in Alicante und Helsinki oder im Rahmen der Workshop-Reihe in Korea.

Zentral für die Konsolidierung der Projektfamilie waren die vom DLR betreuten Projektfamilientreffen bei denen strategische Inhalte abgestimmt, die Weiterentwicklung von Base-X vorangetrieben und die sechs Schwesterprojekte eng miteinander verzahnt wurden. Die Einrichtung und Steuerung der vier projektfamilienweiten Core-Working Groups (Core Services, Semantik, generische Anwendungsdienste, Governance) ermöglichte eine fokussierte fachliche Weiterentwicklung und lieferte wesentliche Grundlagen für die gemeinsame Präsentation eines übergreifenden Use Cases. Mit dem Erreichen des „Gaia-X Lighthouse Status“ wurde die Bedeutung der Projektfamilie zusätzlich gestärkt und ihre europäische Sichtbarkeit maßgeblich erhöht.

Im Verlauf des gesamten Projektzeitraums sicherte das DLR eine enge Kommunikation mit dem Projektträger und dem BMWK, bereitete relevante Inhalte strategisch auf und vertrat die Projektfamilie gegenüber nationalen und internationalen Stakeholdern. Mit Auslaufen der Schwesterprojekte wurden die regelmäßigen Abstimmungsformate planmäßig beendet, während das DLR punktuell weiterhin Vernetzungs- und Transferaktivitäten unterstützte. Damit wurden alle Ziele des AP 4.2 erreicht und die Grundlage für die nachhaltige Weiterführung und Verwertung der Projektergebnisse geschaffen.

#### **AP 4.3 Ergebnisverbreitung und -verwertung**

Das DLR verfolgt das klare Ziel, dass Forschungsergebnisse industriell verwertbar werden und somit nach Projektende zu real erlebbaren Innovationen führen. Das DLR beteiligt sich daher sowohl innerhalb des Projektes als auch außerhalb aktiv an Diskussionen zu möglichen Verwertungskanälen für die eigenen Ergebnisse aber auch zur Verwertung der gemeinsam mit den Industriepartnern entwickelten Ergebnisse.

So ist derzeit in Diskussion nicht-marktdifferenzierende Teile der entwickelten AGEDA-Middleware in einem Open Source Format zu Verfügung zu stellen. Eine abschließende Klärung dieser Diskussion liegt zum Zeitpunkt dieses Berichtes nicht vor. Darüber hinaus entwickelt das DLR seine eigene Verwertungskompetenz in house stetig weiter. So werden auf Basis eigener Mittel Projektergebnisse nach Abschluss von Projekten gezielt zu einem höheren technologischen Reifegrad weiterentwickelt,

um die industrielle Anwendbarkeit sicherzustellen. Dies umfasst sowohl technische Aspekte wie Implementierungen aber auch offene industriell/wissenschaftliche Fragen wie bspw. die gezielte Vereinfachung wissenschaftlicher Ergebnisse für eine effiziente Umsetzbarkeit in industriellen Prozessen.

Bezogen auf die Ergebnisse des Projektes AGEDA wird das DLR die entwickelten GAIA-X Schnittstellen in den eigenen Fahrzeugen und der eigenen Testfeldinfrastruktur weiterentwickeln, um sie zukünftig industriell aber auch für weitere Förderprojekte anbieten zu können. Die Konzepte, die bezogen auf die Middleware entwickelt wurden, werden im Rahmen eines eigenen SDV-Konzeptes weiterentwickelt, das zukünftig als Referenzmodell für Entwicklungen im SDV-Bereich genutzt werden soll. Darüber hinaus wird das DLR für jedes der entwickelten Ergebnisse prüfen, ob eine industrielle Lizenzierung möglich und ein entsprechender Markt vorhanden ist oder ob eine Ausgründung zu einem der Ergebnisse vielversprechend erscheint. Hierzu hat das DLR eigene Kompetenzen, Prozesse und Analysemöglichkeiten geschaffen, die die wissenschaftlichen Mitarbeiter bei entsprechenden Aktivitäten unterstützen.

Weitere Informationen zur Verwertung der Projektergebnisse befinden sich im Kapitel II 4. sowie im Erfolgskontrollbericht.

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

Die Positionen und Nachweise werden gesondert eingereicht.

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

Die abgerufenen finanziellen Mittel wurden ausschließlich für das Projekt GAIA-X4AGEDA verwendet. Die geleisteten Arbeiten werden in diesem Bericht beschrieben und dort inhaltlich und der Zielsetzung entsprechend motiviert. Die Notwendigkeit und Angemessenheit ist damit impliziert.

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

Mit der Forschung und Entwicklung des AGEDA Frameworks in Kombination mit der Verwendung datenraumbasierter Technologien (hier Gaia-X), ergeben sich perspektivisch für die deutsche Wirtschaft als auch für das DLR neue Möglichkeiten im Umgang mit Daten- und Diensten im Verkehrssystem. So wurde mit dem AGEDA Framework eine Fahrzeugarchitektur geschaffen, auf der sich Nutzer unabhängig vom jeweiligen Fahrzeughersteller u.a. Apps installieren oder Software zum Betrieb des Fahrzeugs oder einzelner Fahrzeugfunktionen aktualisieren bzw. ergänzen können. Diese können auch (bei entsprechender Validierung) kritische Funktionen und Fahrzeug-Rekonfigurationen enthalten. Grundlage für die Verwendung solch vertrauenswürdiger Dienste ist die Governance der Gaia-X Technologie. DLR-seitig ergeben sich neue Perspektiven durch die Entwicklung derartiger Applikationen für Cloud und Edge (zusammen aber auch unabhängig voneinander) – aufgrund der AGEDA-Architektur ist das fahrzeugunabhängig, und durch das Anbieten / Nutzen von förderierten Diensten über datenraumbasierten Technologien (wie Gaia-X) ist das auch unabhängig von der konkreten Infrastruktur.

Auf dieser Basis und durch die weitere Etablierung der o.g. Technologien, wird das DLR (sowie die Wirtschaft) in die Lage versetzt, neue Dienste und Anwendungen ohne „Log-in-Effekte“ für den gesamten Fahrzeugmarkt zu entwickeln bzw. zu erforschen. Ein gutes Beispiel ist der im Projekt entwickelte Traffic-Aware-Service, welche u.a. Gefahrenmeldungen über das AGEDA Framework ins Fahrzeug broadcasten kann. Das vielbesagte „Smartphone auf Rädern“ wird somit ein Stück realistischer.

Im Projektkontext konnte das DLR zusammen mit den Projektpartnern zudem Collective Perception weiter entwickeln, in dem gezeigt wurde, wie ein Lagebild aus unterschiedlichen Informationsquellen generiert werden kann. In diesem Rahmen konnte im Projekt nachgewiesen werden, dass eine solche Umsetzung nicht „nur“ über V2X, sondern auch über Cloud/Edge-Dienste erfolgen kann. Zukünftige Forschungs- und Entwicklungsvorhaben müssen in diesem Bereich u.a. weitere Forschungsfragen zur vertrauenswürdigen Kalibrierung und Synchronisation untersuchen.

Darüber hinaus ergeben sich weitere wissenschaftliche Fragestellungen, die sich in Zusammenhang mit der Nutzung von Cloud-Diensten für zeitkritische Fahrzeugfunktionen ergeben. Dazu zählen u.a. die Themen Remote Operation als auch Managed Automated Driving, welche aus aktueller Sicht Bausteine zur Umsetzung des automatisierten Straßenverkehrs sind.

Im Rahmen des Projektes sind die notwendigen Technologiebausteine des Projekts in der DLR eigenen Infrastruktur sowie den Demonstratoren eingesetzt und getestet worden, sodass in zukünftigen Projekten darauf bzw. auf dem gesammelten Know-How aufgesetzt werden kann. Die Projektergebnisse sind zudem für Veröffentlichungen (siehe Kapitel II 6.) sowie für die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses eingesetzt worden.

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

Keine.

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

[1] K. Grüttner, H. Schlender, K. Schwarze, B. Westphal, R. Stemmer, „*Safeguarding Over-the-Air-Updates*“, 11. Internationales Symposium für Entwicklungsmethodik von AVL, November 2025.

[2] K. Hasan, A. Shakeri, B. Westphal, „*Leveraging External Hazard Data to Safeguard Automated Driving System*“, submitted to The IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2026.

[3] V. A. Wolff, E. Xhoxhi, F. Schiegg, J. Neumann, „*Uncertainty und Prioritization: Empirical Ecaluation of a Vol-Based CPM Generation Pipeline Using Real-World Data*“, 16th IEEE Vehicular Networking Conference, VNC 2025.

Geplant:

[4] F. Andert, D. Buch, J. Windolph: „*Enabling User Applications on Vehicles as on a Rolling Smartphone – Towards Critical and Live Functions as Cloud-Enhanced Routing and Control*“, 17<sup>th</sup> ITS European Congress, 2026.