

Teil II - Ausführlicher Abschlussbericht - öffentlich

Gaia-X 4 Advanced Mobility Services

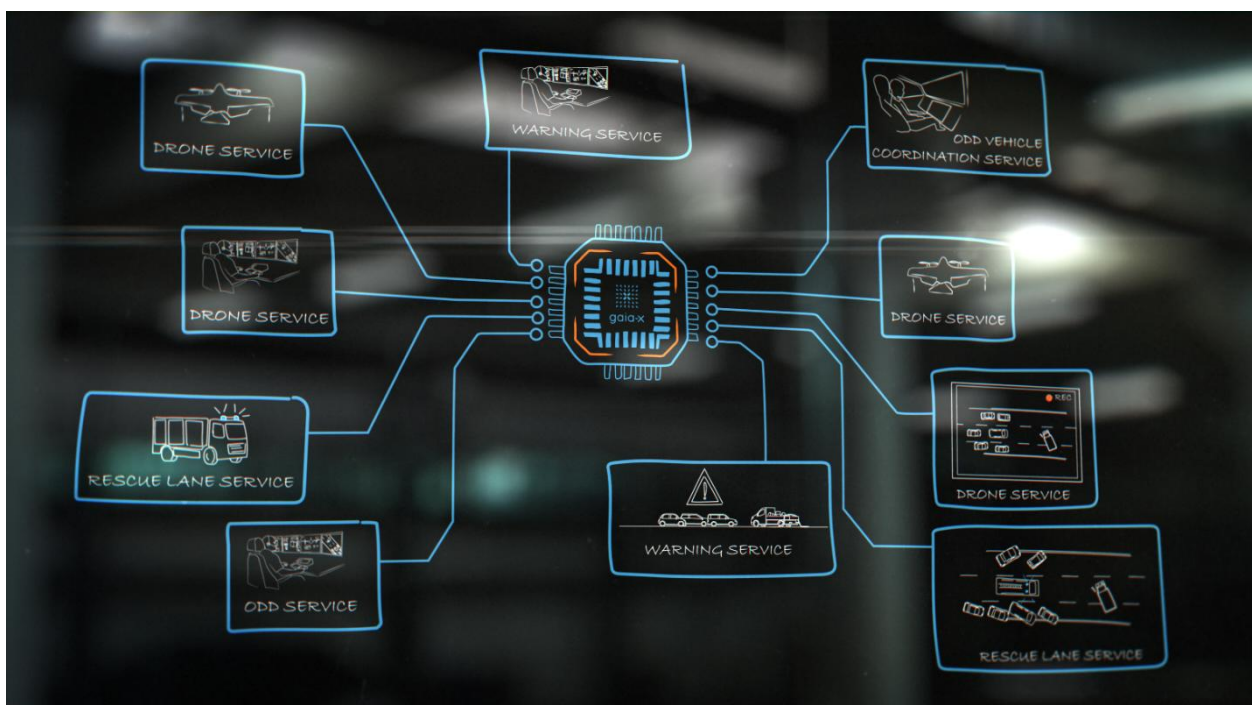
Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK, Berlin

Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik ISST, Dortmund

Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI, Dresden

Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT, Sankt Augustin

Förderkennzeichen: 19S21004I



Berlin, den 17.12.2025

Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik

Pascalstraße 8-9, 10587 Berlin

E-Mail: pascal.luennemann@ipk.fraunhofer.de



Finanziert von der Europäischen Union
NextGenerationEU

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Inhaltsübersicht

1	Übersicht über das Projekt	3
1.1	Gesamtziel des Vorhabens	3
1.2	Bezug des Vorhabens zu förderpolitischen Zielen	5
1.3	Stand der Wissenschaft und Technik zu Projektbeginn	6
2	Ziele und Ergebnisse der Arbeiten von Fraunhofer	7
2.1	Beiträge von Fraunhofer zum Projekt	7
2.2	TP 1 Gaia-X Framework	8
2.3	TP 2 Infrastruktur-Ökosystem	10
2.4	TP 3 Daten- und Dienste-Ökosystem.....	15
2.5	TP 4 Sichere Koordination von autonomen Fahrzeugen.....	17
2.6	TP 5 Vernetzter und sicherer Rettungskorridor	23
2.7	TP 6 Austausch innerhalb der Projektfamilie Gaia-X 4 Future Mobility.....	26
3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	27
3.1	Notwendigkeit	27
3.2	Angemessenheit	28
4	Verwertung der Ergebnisse von Fraunhofer	30
4.1	Wirtschaftliche Verwertung	30
4.2	Wissenschaftliche Verwertung.....	31
5	Fortschritt durch Dritte auf dem Gebiet des Vorhabens	33
6	Erfolge und geplante Veröffentlichungen	34
	Abbildungsverzeichnis.....	35
	Tabellenverzeichnis	36

1 Übersicht über das Projekt

1.1 Gesamtziel des Vorhabens

Die allgegenwärtige und stetig wachsende Digitalisierung unseres Alltages betrifft längst auch etablierte Wertschöpfungsketten in fast allen Industriezweigen unserer Volkswirtschaft. In der Automobilindustrie beispielsweise erfährt das Geschäftsmodell der Fahrzeughersteller einen Wandel zum Mobilitätsanbieter, indem der Service autonomes Fahren bei Volkswagen stunden- oder tagesweise zubuchbar ist¹. Das autonome Fahren wird zukünftig in Europa einen Zuwachs erfahren. Damit die Verkehrssicherheit und die Effizienz des Verkehrs erhöht werden können, müssen autonome Fahrzeuge unter anderem auf robuste und zuverlässige Daten zurückgreifen. Sowohl die Daten als auch die Dienste zur Bearbeitung dieser Daten definieren zahlreiche Anforderungen an die zu Grunde liegende Qualität, Sicherheit, Performance und Nutzbarkeit. Dazu ist eine umfangreiche Dateninfrastruktur mit einheitlichen Schnittstellen, Datenformaten etc. erforderlich. Gaia-X stellt die nächste Generation einer sicheren und vernetzten Dateninfrastruktur für Europa dar. Sie hat den Anspruch, die digitale Souveränität Europas zu stärken und Innovationen zu fördern. In einem offenen und transparenten digitalen Ökosystem sollen Daten und Dienste verfügbar gemacht, zusammengeführt und vertrauensvoll geteilt werden.

Das Projekt Gaia X 4 AMS sollte zeigen, wie mit Hilfe von Gaia-X vielfältige Mobilitätsdienste umgesetzt werden und welche Komponenten hierzu in Gaia-X zu realisieren sind. Hierbei waren zwei Use-Cases von zentraler Bedeutung:

Use Case 1: ODD-gestütztes Routing

Eine Automatisierung von L4-Fahrzeugen ist nach dem gegenwärtigen technischen Stand nur in bestimmten engen Anwendungsgrenzen ("Operational Design Domain, ODD") möglich. Dabei müssen bestimmte Attribute/Faktoren (Wetter, Kreuzungstyp, Verkehrsteilnehmer, Road Side Units usw.) sowie Manöver (z.B. Spurwechsel, Überholvorgang) als Anwendungsvoraussetzungen und als ein zentrales Entwicklungsfeld von autonomen Fahrzeugen in der ODD berücksichtigt werden. Dabei ist die Verfügbarkeit von einem großen Datensatz notwendig. Neben möglichst



Abbildung 1: Autonomes Fahrzeug in einer Baustellensituation

¹ Business Insider: ["Autonom fahren für 7 Euro pro Stunde: Wie VW künftig Geld verdienen will \(Stand: Juni 2021\)"](#)

exakten statischen Kartendaten sollten hier auch dynamische Daten vorgehalten werden. Je größer der Pool der vorgehaltenen Daten ist, desto besser sind Überdeckungen mit ODDs errechenbar. Gaia-X bietet hierfür den optimalen Anknüpfungspunkt. Durch die Bearbeitung dieses Themenkomplexes kann die Verfügbarkeit verschiedener Daten zu einem breiten Spektrum an Datenqualität führen, um ein genaues Abbild der vorherrschenden ODD-Verhältnisse über die gesamte Fahrroute hinweg zu erhalten und Einschränkungen frühzeitig zu erkennen.

Use Case 2: Vernetzter und Sicherer Rettungskorridor

Rettungsmobilität ist ein wichtiger Anwendungsfall, welcher durch Informationsaustausch und Vernetzung, wie durch Gaia-X gefördert, besonders profitieren kann. Bereits in einem ersten Schritt kann durch Vernetzung von Einsatzleitzentralen, Fahrzeugen und Lichtsignalanlagen ein schnelleres Erreichen des Einsatzorts bei verringerter Gefährdung der



Abbildung 2: Fahrzeuge halten vor einem Unfallfahrzeug an.

Verkehrsteilnehmer erreicht werden. In naher Zukunft ist an dieser Stelle auch die Betrachtung von automatisiert fahrenden und/oder vernetzten Fahrzeugen wichtig. Durch Vernetzung kann vor herannahenden Rettungsfahrzeugen gewarnt werden, so dass frühzeitiger darauf reagiert werden kann. Die im Stadtverkehr oft nur auf unkonventionelle Art erreichbare Schaffung einer Rettungsgasse (z.B. Befahren von Fußwegen, begrenztes Überfahren von Haltelinien an roten Ampeln, reduzierte Abstände) stellt autonome Fahrzeuge jedoch noch vor große Herausforderungen. Hier ist es von elementarer Wichtigkeit, dass die jeweiligen Ausweichstrategien nur minimale negative Auswirkungen haben und idealerweise koordiniert stattfinden, was nur bei einer hohen Datenverfügbarkeit, Datengenauigkeit und niedriger Latenz der Daten erreicht werden kann. Ebenfalls ist an dieser Stelle die Verbindung zum ODD-gestützten Routing notwendig, da die Ausweichstrategien im Einklang mit den jeweiligen ODDs der Fahrzeuge stehen müssen.

Für die geplante Umsetzung von Gaia-X in praktische Use-Cases ergaben sich für das Projekt die folgenden Teilziele:

- Identifikation der relevanten Daten und Dienste in der Gaia-X-Architektur für einen operationalisierten Betrieb
- Ableitung von Anforderungen an den Gaia-X Mobility Data Space
- Implementierung der Datenservices

- Implementierung ausgewählter Konnektoren zum Gaia-X Mobility Data-Space
- Umsetzung eines Demonstrators im Testfeld Niedersachsen / AIM-Braunschweig und im Testfeld In2Lab (Ingolstadt)
- Einschätzung der Forensic Readiness und Entwicklung von Empfehlungen

1.2 Bezug des Vorhabens zu förderpolitischen Zielen

Die in dem Projekt adressierte Programmschwerpunkte waren Automatisierte Fahren, Innovative Fahren und Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien.

Ziel des Projekts ist der Aufbau eines Gaia-X-basierten Daten- und Dienste-Ökosystems, das eine sichere und vertrauenswürdige Mobilitätsdaten-Infrastruktur schafft. Es aggregiert Daten aus verschiedenen Quellen und Branchen, steigert deren Wert, verbessert bestehende Mobilitätsdienste sowie Geschäftsmodelle und eröffnet zugleich neue Möglichkeiten für Dienste und Geschäftsmodelle. Dabei wird ein dezentral organisierter Systemverbund entwickelt, der ein agiles Einbinden von Daten- und Diensteanbietern ermöglicht. Dadurch wurden die Schwerpunkte „Schnelle, sichere und zuverlässige Kooperation durch Kommunikation“ sowie „Neuartige Verfahren zur Datenfusion und -verarbeitung“ aus dem Förderprogramm betont.

Das Projekt zeigt exemplarisch zwei Use-Cases aus dem Bereich „Advanced Mobility Services“, die die Leistungsfähigkeit von Gaia-X demonstrieren. Die Methodik und Systembausteine stellen einen Fortschritt gegenüber bestehenden Lösungen dar.

Tabelle 1: Abgedeckte Schwerpunkthemen

Programmsäule	Abdeckung durch Gaia-X 4 AMS
Innovative Sensorik	Weiterentwicklung von Sensorsystemen und zuverlässiger Datenfusion
Rechenalgorithmen	Echtzeitfähige Sensorik für dynamische Verkehrslenkung
Hochgenaue Lokalisierung	Kombination von Fahrzeug- und Infrastrukturdaten
Kooperation durch Kommunikation	Entwicklung intelligenter Vernetzungslösungen

Das Projekt fördert die Entwicklung von Datendiensten und -services im Gaia-X Mobility Data Space, um neue Mobilitätsangebote und Geschäftsmodelle zu schaffen. Durch die Zusammenarbeit mit Stakeholdern wird ein nationaler Technologievorsprung erreicht, der zur

Steigerung des Technologiereifegrades im automatisierten Fahren beiträgt und die wirtschaftliche Rolle der Partner sichert.

1.3 Stand der Wissenschaft und Technik zu Projektbeginn

Zu Projektbeginn im Jahr 2022 war die Wissenschaft und Technik im Bereich digitaler Ökosysteme und automatisierter Mobilität noch mit erheblichen Herausforderungen konfrontiert. Große „Hyperscaler“ dominierten den europäischen Cloud-Markt und behinderten die Interoperabilität und Portabilität, während rechtliche Unsicherheiten und mangelndes Vertrauen zwischen Organisationen den Austausch von Daten stark einschränkten. Gaia-X befand sich zu diesem Zeitpunkt in der Übergangsphase mit ersten Proof-of-Concept-Systemen, einer grundlegenden Architektur und beginnenden Implementierungen der Federation Services, wobei eine umfassende Einbindung der Anwender noch ausstand. Im Bereich Verkehr und Automatisierung waren Forschung und Entwicklung primär auf isolierte Fahrzeugtechnologien fokussiert, während hybride Kommunikationstechnologien und Operational Design Domain (ODD)-Konzepte erst in Ansätzen verfolgt wurden.

2 Ziele und Ergebnisse der Arbeiten von Fraunhofer

2.1 Beiträge von Fraunhofer zum Projekt

Im Projekt wurden mehrere wegweisende Ergebnisse erzielt, die die Einführung und den praktischen Betrieb kollaborativer Daten und Dienstökosysteme maßgeblich voranbringen. Ein Teil der Entwicklungen war die folgenden zwei Dienste: der **Drone Selection Service (DSS)** und das **Service Discovery Tool (SDT)**. Der DSS ermöglicht eine automatisierte, kontextbasierte Auswahl geeigneter Drohnen für spezifische Missionen unter Berücksichtigung von Fähigkeiten, Verfügbarkeiten und betriebsrelevanten Rahmenbedingungen. Das SDT stellt eine durchsuchbare, standardisierte Ebene bereit, über die Dienste und Datenangebote schnell gefunden, verglichen und für die weitere Orchestrierung genutzt werden können. Diese Dienste haben gezeigt, dass in Datenökosystemen Mehrwert entstehen kann, durch Kollaboration mehrerer Partner, und diese Kollaboration einfach mit dem Framework der Datenökosysteme wie Gaia-X erreicht werden kann.

Parallel wurde eine umfassende Ontologiearbeit durchgeführt, die sowohl domänenspezifische Begriffe der Drohnenoperation als auch generische Beschreibungsmodelle für Datenangebote und Services zusammenführt. Diese semantische Basis erlaubt es, Anforderungen und Metadaten konsistent zu modellieren und automatisierte Interaktionen zwischen heterogenen Partnern zu ermöglichen. Aufbauend darauf entstand eine methodische Roadmap: Use-Cases wurden systematisch analysiert, um daraus technologie- und anbieterneutrale Anforderungen an Architektur, Governance und Schnittstellen abzuleiten. Dadurch lässt sich aus konkreten Anwendungen direkt die notwendige Systemstruktur ableiten von Datenformaten über Sicherheitsanforderungen bis hin zu Betriebsszenarien.

Im Architektur- und Technologie-Bereich wurden Referenzarchitekturen und modulare Baukastenkomponenten entwickelt, die Identitätsmanagement, Registries und Datentransfermechanismen abbilden und Integrationspfade zu bestehenden Standards ermöglichen. Besonderes Augenmerk lag auf Technologieoffenheit und Interoperabilität, sodass die Lösungen in unterschiedlichen Infrastrukturen einsetzbar sind.

Schließlich adressierte das Projekt auch wirtschaftliche Aspekte: Beispielhafte Geschäftsmodelle und Zahlungslösungen (Payment & Billing) wurden konzipiert von nutzungsbasierten Abrechnungsmodellen für Daten- und Servicezugriffe bis hin zu automatisierten Abrechnungsprozessen, die standardisierte Servicebeschreibungen nutzen. Diese Ansätze machen es möglich, Daten- und Dienstangebote nachhaltig zu monetarisieren und die wirtschaftliche Skalierung von Datenökosystemen zu unterstützen.

2.2 TP 1 Gaia-X Framework

In dem Arbeitspaket 1.3 standen organisatorische Aufgaben, wie das Durchführen regelmäßiger Meetings, sowie der Kommunikation mit den Teilpaketleitern im Vordergrund. Auf inhaltlicher Ebene wurde regelmäßig an organisierten Workshops teilgenommen.

Das Arbeitspaket 1.2 verfolgte das Ziel, eine Architekturspezifikation für Gaia-X 4 Advanced Mobility Services zu entwickeln und damit eine technische Grundlage für die Umsetzung der nachgelagerten Arbeitspakete zu schaffen. Der Fokus lag auf der Übertragung der Gaia-X-Referenzarchitektur auf den Mobilitätssektor und der Integration von Standards, Schnittstellen und Mechanismen, die eine souveräne und interoperable Nutzung von Daten und Diensten ermöglichen. Damit sollte eine technische Basis geschaffen werden, die den besonderen Anforderungen der Mobilität – wie Echtzeitfähigkeit, heterogene Datenquellen und föderierte Strukturen – gerecht wird.

Zu Beginn erfolgte eine umfassende Analyse der existierenden Gaia-X-Spezifikationen, insbesondere des Architecture Documents und der Federation Services. Diese Analyse diente der Identifikation der für Mobilitätsanwendungen relevanten Architekturkomponenten und zeigte zugleich, in welchen Bereichen Erweiterungsbedarf besteht. Aufbauend auf dieser Untersuchung wurde entschieden, auf den Eclipse Dataspace Components (EDC) als zentrale technische Grundlage aufzubauen. Der EDC bietet ein modulares und offenes Framework, das in mehreren Gaia-X-nahen Initiativen – unter anderem Catena-X und Mobility Data Space – bereits erfolgreich zur Implementierung von Datenräumen eingesetzt wird.

Im Verlauf des Arbeitspakets wurde eine EDC-basierte Referenzarchitektur entworfen, die die Prinzipien der Gaia-X-Architektur – insbesondere Interoperabilität, Datensouveränität, Sicherheit und Portabilität – konkretisiert und in ein technisches Modell überführt. Die Architektur wurde so gestaltet, dass sie die Verwaltung und den Austausch von Daten zwischen souveränen Akteuren ermöglicht und dabei sowohl technische als auch organisatorische Aspekte berücksichtigt. Eine wesentliche Rolle spielte dabei die Integration von Decentralized Identifiers (DID:Web), die es erlaubt, Identitäten dezentral zu verwalten und vertrauenswürdig zu verifizieren. Diese Mechanismen gewährleisten, dass nur autorisierte Teilnehmer Zugriff auf Daten erhalten und die Authentifizierung im Sinne der Gaia-X-Prinzipien erfolgt.

Neben der Identitätsverwaltung wurden im Rahmen des Arbeitspakets Mechanismen zur Autorisierung und Durchsetzung von Datenzugriffs- und Nutzungsrechten konzipiert. Diese beruhen auf Usage Policies und erlauben eine kontextspezifische, maschinenlesbare Definition der Bedingungen, unter denen Daten genutzt werden dürfen. Ergänzend wurden Kommunikationsschnittstellen für Echtzeitdaten integriert, um Anforderungen aus

Anwendungsfällen wie Flottenmanagement, vernetzten Fahrzeugen und Rettungsmobilität zu unterstützen. Hierzu wurden insbesondere MQTT- und Kafka-basierte Kommunikationsmechanismen berücksichtigt.

Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Beschreibung und Standardisierung von Daten und Diensten. Dafür wurden die in Gaia-X vorgesehenen Self-Descriptions sowie die von der Industrial Digital Twin Association (IDTA) entwickelten Strukturen der Asset Administration Shell (AAS) genutzt. Diese ermöglichen eine semantisch einheitliche Beschreibung von Daten, digitalen Zwillingen und Diensten und unterstützen damit die Interoperabilität innerhalb des Datenökosystems.

Die im Arbeitspaket entwickelte Architekturspezifikation wurde in der Version 2 konsolidiert und bildet eine Grundlage für die Implementierung in den technischen Arbeitspaketen TP2 und TP3. Darüber hinaus enthält sie konzeptionelle Ansätze zur Integration externer Datenräume, wie des Mobility Data Space oder von Catena-X. Hierbei wurden sowohl direkte Kopplungsszenarien als auch Varianten mit intermediären Vermittlungsinstanzen konzipiert, um die Interoperabilität über unterschiedliche technische Basen hinweg sicherzustellen.

Die Ergebnisse des Arbeitspakets 1.2 leisten einen zentralen Beitrag zur technischen Konkretisierung der Gaia-X-Vision im Mobilitätsbereich. Durch die Kombination von offenen Standards, föderierten Identitätsmechanismen und einer erweiterbaren Referenzarchitektur wird eine tragfähige Basis geschaffen, auf der zukünftige Mobilitätsdatenräume aufgebaut und miteinander verknüpft werden können. Damit bildet die Architekturspezifikation nicht nur die Grundlage für die konkrete Umsetzung der Anwendungsfälle, sondern auch für die langfristige Skalierung von Gaia-X-basierten Mobilitätsökosystemen.

Im Arbeitspaket 1.3 wurden zwei Hauptziele verfolgt. (1) Ermittlung der Anforderungen an notwendige Federation Services für die Umsetzung der Use Cases aus TP4 und TP5, sowie den Services aus TP3, und (2) Die Anpassung dieser Federation Services auf die domänenspezifischen Anforderungen des Gaia-X 4 AMS Projekts.

Um eine passende Auswahl der Federation Services zu finden, wurden dem Konsortium zwei Technologie-Stacks präsentiert. Zum einen die Eclipse Dataspace Components (EDC) und zum anderen die Eclipse Cross-Federation Services Components (XFSC), zu Beginn des Vorhabens bekannt unter dem Namen Gaia-X Federation Services (GXFS). Da die XFSC-Komponenten zu Beginn des Projektes noch am Anfang ihrer Entwicklung standen, hat sich das AMS-Konsortium initial für die Verwendung der EDC entschieden. Parallel wurde die Entwicklung der XFSC weiterverfolgt, insbesondere die des domänenspezifisch anpassbaren XFSC Federated Catalogues, welche aktiv durch die Durchführung von Community Calls vorangetrieben wurde.

Die Bedarfe aus den verschiedenen Anwendungsfällen wurden während der gesamten Projektlaufzeit regelmäßig in die XFSC Federated Catalogue Community Calls getragen und haben dort zu entsprechenden Anpassungen an der Komponente geführt. So wurde z.B. die Verwendung von domänenspezifischen (im Fall von AMS die Mobilitätsdomäne) Schemata und Datenstrukturen, im Einklang mit den Forderungen an eine Gaia-X konforme Umsetzung ermöglicht. Dies ermöglichte dann, dass zum Ende der Projektlaufzeit ein AMS-spezifisches Deployment einer XFSC Federated Catalogue Instanz umgesetzt wurde, mit der prototypisch das Speichern und Auffinden von Mobility Services gezeigt werden konnte.

2.3 TP 2 Infrastruktur-Ökosystem

In „*TP 2: Infrastruktur-Ökosystem*“ fokussierte sich Fraunhofer insbesondere auf „*AP 2.3 Schnittstellen zu weiteren Datenräumen*“. Als erstes Ergebnis dieses AP wurde das Deliverable mit dem Titel „*Dokumentation der Datenraum-Analyse, ihrer technischen Anbindungsoptionen sowie Governance-Modelle*“ erstellt. Dieses Dokument bietet eine detaillierte Übersicht über andere Datenraum-Initiativen und analysiert, wie eine Anbindung des AMS-Datenraums an diese Datenräume realisiert werden könnte. Die Erstellung dieses Dokuments erforderte eine kontinuierliche, enge Abstimmung mit den anderen Arbeitspaketen, insbesondere TP1. Die Ergebnisse der Analyse sind in Tabelle 2 und Tabelle 3 zusammengefasst. Die Arbeit von Fraunhofer lieferte dem Projekt damit eine strukturierte Gegenüberstellung der verschiedenen Datenrauminitiativen mit Bezug zu Mobilitätsdaten, welche zum damaligen Zeitpunkt teilweise noch im Entstehen waren. Auf dieser Grundlage war es dem Projekt in der Folge möglich, konkret zu entscheiden, mit welchen Datenräumen eine Verbindung sinnvoll wäre und welche Technologien dafür zu Einsatz kommen sollten.

Tabelle 2: Datenraumanalyse 1/2






	 Mobility Data Space	
Datenraum	Mobility Data Space	Mobil thek
Stakeholder / Rollen	Datenraum Mobilität GmbH (organisatorisch) IONOS/Orbiter (Betrieb)	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
Anwendungsfälle	Austausch jeglicher Art von Daten mit Bezug zu Mobilität. Wetterabhängige Empfehlungen für App-Nutzer ...	Bereitstellung von Mobilitätsdaten mit verkehrspolitischer Bedeutung. Benzinpreisdaten ...
Governance	Nutzung von Usage Policies. Anerkennung AGB zur Teilnahme notwendig.	Beantragung eines Zugangs und Akzeptanz der AGB der Plattform erforderlich.
Bezug AMS	Möglichkeit zum Bezug von benötigten Daten und zum Bereitstellen von Daten aus dem AMS Projekt.	Möglichkeit zum Bezug von benötigten Daten.

Tabelle 3: Datenraumanalyse 2/2

			
Datenraum	Data Intelligence Hub	Catena-X	MobiDS
Stakeholder / Rollen	Deutsche Telekom	Catena-X Automotive Network e.V.	Mehrere Teilnehmer im Forschungsprojekt
Anwendungsfälle	Verschiedenste Anwendungsfälle aus zahlreichen Anwendungsbereichen umgesetzt. Connector-as-a-Service Angebot verfügbar.	Datengetriebene Wertschöpfung aus der Produktion in der internationalen Automobilindustrie.	Multimodale Pendlerbenachrichtigung Regionale kommunenübergreifende Verkehrsbeeinflussung
Governance	Nutzung der Connectortechnologie.	Nutzung von Usage Policies über IDS Connectortechnologie.	Nutzung von IDS Usage Policies.
Bezug AMS	Möglichkeit zum Bezug von benötigten Daten und zur Bereitstellung von Daten aus/an den DIH. Das Connector-as-a-Service Angebot kann im Projekt genutzt werden.	Catena-X Use Cases und Daten aus der Automobilproduktion weniger relevant für die Use Cases im AMS Projekt.	Nutzung von aktuellen Verkehrs- und Prognosedaten der Partner des Projekts denkbar.

Die Arbeiten von AP2 dienen außerdem dazu, das Verständnis der Gaia-X-Technologien im Projektkonsortium zu vertiefen und die technologische Auswahl zur Umsetzung der Anwendungsfälle zu unterstützen. Es wurden außerdem Analysen dazu angestellt, welche Daten aus externen Datenräumen potenziell relevant für die AMS-Anwendungsfälle sind bzw. welche Daten aus den Anwendungsfällen in andere Datenräume geteilt werden könnten. Die Ergebnisse dieser Analysen wurden im Dokument „E.2.3.3 Analyse der Use-Cases in Bezug auf deren Datenbedarf aus den verschiedenen Datenräumen“ festgehalten. Ein Resultat dieser Analysen war die Feststellung, dass der Mobility Data Space (MDS) mit seinem Angebot am ehesten den Datenbedarf der AMS-Anwendungsfälle decken könnte. Vor diesem Hintergrund wurden mehrere Abstimmungen mit dem MDS geführt, um eine mögliche zukünftige Verbindung beider Datenräume zu diskutieren.

Für eine mögliche technische Anbindung des MDS und der Mobilithek über den MDS erstellte Fraunhofer einen Vorschlag, welcher in Abbildung 3 zu finden ist. Dabei wird ein dedizierter EDC Connector auf AMS Seite verwendet, um eine Verbindung zum MDS aufzubauen. Durch ein vom MDS ausgestelltes Zertifikat hat dieser Zugriff auf Daten des MDS. Im gezeigten Beispiel werden Wetterdaten aus dem MDS konsumiert. Diese werden auf AMS-Seite im ODD-OD-Matching Service, für ein konkretes Matching verarbeitet. Das Ergebnis des Matchings wird an den anfragenden Teilnehmer aus dem AMS-Datenraum zurückgegeben. Zu beachten ist dabei, dass nur die Ergebnisse des Matchings, nicht aber die aus dem MDS bezogenen Daten selbst in die AMS Federation weitergegeben werden. Das Konsumieren von Daten aus der Mobilithek kann ebenfalls über den MDS Connector erfolgen. Da die Mobilithek ihrerseits ihre Daten in den MDS publiziert und im MDS verfügbar macht, kann der Zugriff direkt über den EDC Connector erfolgen.

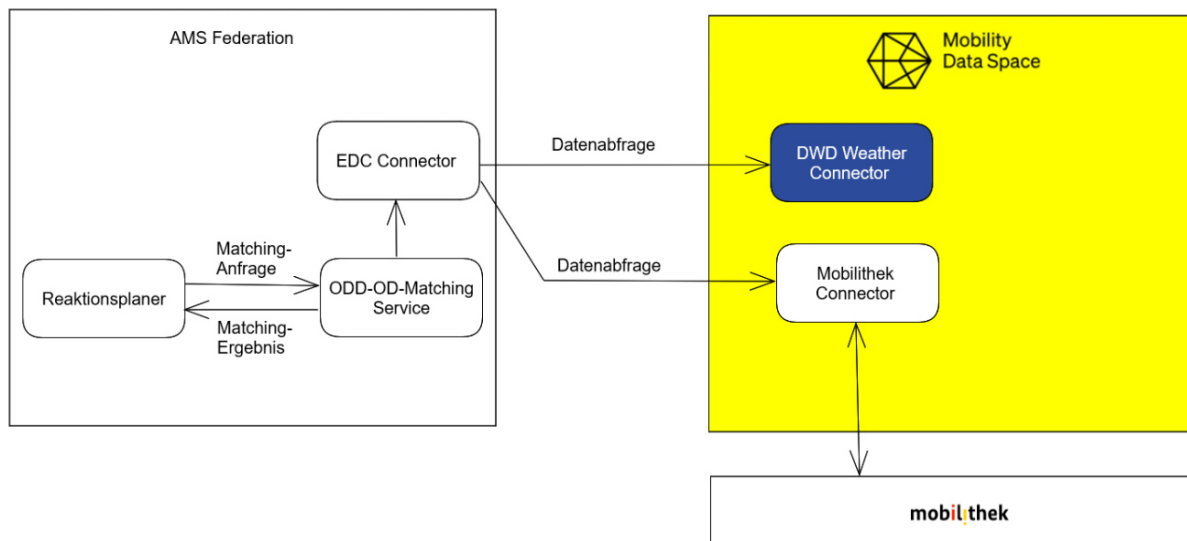


Abbildung 3: Datenbezug aus dem MDS und aus der Mobilithek über den MDS

Zusätzlich wurde in AP2.3 die von T-Systems gehostete Variante des EDC getestet, um die Arbeiten von TP1 und TP3 technisch zu unterstützen. Die Tests umfassten die Demonstration des Datenaustauschs sowie die Erstellung Gaia-X-konformer Selbstbeschreibungen der Datenraumteilnehmer. Während dieser Tests traten Herausforderungen auf, insbesondere hinsichtlich der fehlenden Integration der EDC-Komponenten in Gaia-X-Komponenten (beispielsweise dem Federated Catalog) sowie der Interoperabilität Gaia-X-Komponenten untereinander. In den abschließenden Projektmonaten unterstützte Fraunhofer die Weiterentwicklung des Atlas-X Gateway Frameworks, das auch in anderen Datenräumen eingesetzt wird. Die von Fraunhofer eingebrachten Vereinfachungen der Konfiguration und die verbesserte Dokumentation des Gateways erleichterten dessen Nutzung und ermöglichten, das Gateway als eine einfache Schnittstelle zu anderen Datenräumen einzusetzen.

Zusammen mit den anderen Projektpartnern wurde TP-übergreifend die Öffnung des Datenraums und die dafür notwendigen Schritte und Technologien besprochen. Die Erkenntnisse aus TP2 wurden in diese Diskussion eingebracht. Gleichzeitig brachten die Projektpartner aus den TPs ihre Ziele in die Diskussion ein. Dabei wurden notwendige Features für Gaia-X Komponenten erkannt, wie bspw. Rollencredentials, welche später auch in Atlas-X getestet werden konnten.

2.4 TP 3 Daten- und Dienste-Ökosystem

Im Rahmen des Projekts wurde das TP3 geleitet, wobei die Arbeitspakete zu Identität, datengetriebenen Services und Forensik stets miteinander verknüpft wurden, um ein funktionierendes Ökosystem für Daten und Dienste zu schaffen. Die fachliche und technische Arbeit fand jedoch überwiegend im 3.3 statt.

Das Arbeitspaket 3.3 diente der Entwicklung datengetriebener Services für den Bereich *Advanced Mobility*, um die Grundlage für föderierte Anwendungen im Sinne von Gaia-X zu schaffen. Die spezifischen Ziele waren:

1. die Definition eines Anforderungskatalogs für übergeordnete Datenservices,
2. die Entwicklung einer Referenzarchitektur für Digitale Zwillinge unter Berücksichtigung von Datenschutz und Sicherheit,
3. die Integration von Mechanismen zur automatisierten Datenanalyse,
4. die Entwicklung eines Dashboards zur Prozessüberwachung,
5. den Aufbau einer systematisierten Datenarchitektur,
6. die Implementierung eines Echtzeit-Performance-Monitorings,
7. die Sicherheitsvalidierung und das Conformance Monitoring,
8. die Erarbeitung einer Grundlage für nachgelagerte Abrechnung, sowie
9. die Entwicklung eines Konzepts zur Nachverfolgbarkeit und Protokollierung der Datenprozesse.

Im ersten Schritt wurde ein Anforderungskatalog erstellt, der technische und organisatorische Voraussetzungen für die Bereitstellung von Datenservices definierte. Die Ableitung erfolgte bottom-up aus den Anwendungsfällen (TP4/TP5) und top-down aus den allgemeinen Gaia-X-Anforderungen für *Advanced Mobility*. Die identifizierten Datenservices wurden in einer Taxonomie strukturiert und mit potenziellen Geschäftsmodellen, Erlöslogiken und Rollenbeziehungen im Ökosystem verknüpft, die Ergebnisse sind in Ergebnisbericht E3.3.1 dokumentiert.

Darauf aufbauend wurde eine modulare Referenzarchitektur konzipiert (E3.3.2), die Datenerfassung, Verarbeitung und Servicebereitstellung über containerisierte Komponenten integriert. Datenschutz und Zugriffssicherheit wurden über den Einsatz von Keycloak und rollenbasierte Zugriffskontrolle sichergestellt.

Parallel wurde ein Framework für die Datenintegration und -auswertung entwickelt, das die automatische Verarbeitung eingehender Datenströme ermöglicht. Diese Architektur wurde in zwei Demonstratoren umgesetzt:

- Der **Drone Selector Service (DSS)** als Dashboard zur Koordination und Verwaltung von Drohneneinsätzen.
- Das **Service Discovery Tool (SDT)** zur Identifikation und Auswahl verfügbarer Dienste auf Basis standardisierter JSON-Selbstbeschreibungen.

Zur Sicherstellung der Systemstabilität und Skalierbarkeit erfolgte die Implementierung vollständig containerisiert in Docker, mit getrennten Modulen für Frontend, Backend und Authentifizierung.

Die Umsetzung der beiden Demonstratoren belegt die technische Machbarkeit föderierter Service-Architekturen im Mobilitätskontext.

- Der **DSS** erlaubt es, Job-Anfragen, Vertragsbeziehungen und Einsatzdaten in Echtzeit zu verwalten und abzuschließen. Die resultierenden Datenflüsse können zur Performanceüberwachung und späteren Abrechnung genutzt werden.
- Das **SDT** ermöglicht die semantische Erkundung und Anforderung von Diensten. Nutzer können über eine interaktive Karte Dienste lokalisieren, vergleichen und vertraglich simuliert anfordern.

Beide Systeme unterstützen standardisierte Gaia-X-Datenstrukturen und bilden somit eine verifizierte, interoperable Datenarchitektur. Diese beiden Demonstratoren wurden detaillierter in E3.3.3 und 3.3.4 dokumentiert und in der Abschlussveranstaltung vorgestellt.

Zur Erfüllung der Ziele 8 und 9 wurde eine Zahlungs- und Protokollierungsarchitektur entworfen, die Prüfbarkeit, Compliance, Modularität, Integrationsfähigkeit und rechtliche Verbindlichkeit adressiert. Die Zahlungsarchitektur wurde in der Fachcommunity veröffentlicht (Rosa Cencic, Maiara, et al.: "A Payment Architecture for Decentralized Data Spaces Based on Gaia-X", ICDEc 2024). Sie schafft die Grundlage für eine automatisierte Abrechnung in föderierten Datenräumen.

Ergänzend wurde ein Rahmenwerk für Geschäftsmodelle der beteiligten Datenökosysteme erarbeitet und mit der im Projekt entwickelten Rollenmatrix harmonisiert (AP1.1). Das rollenbasierte Rahmenwerk zur Entwicklung von Geschäftsmodellen in Datenräumen wurde publiziert (Gessler et al., 2025, Data in Brief). Damit werden Machtasymmetrien adressiert und Anreize für private Anbieter zur Teilnahme am Ökosystem erhöht.

Dazu wurde ein automatisiertes Business-Case-Tool mit zwei Oberflächen bereitgestellt: für Datenservice-Provider (z. B. zur Ermittlung eines Mindestpreises auf Basis Kosten/Marge) und für Betreiber des Ökosystems. Teilnehmende können Annahmen, externe und interne Kosten parametrisieren und transparente Wirtschaftlichkeitsrechnungen durchführen.

Die im Arbeitspaket entwickelten Komponenten demonstrieren die praktische Umsetzung von Gaia-X-Prinzipien in der Mobilitätsdomäne. Sie zeigen, wie sich Datensouveränität, Sicherheit und Interoperabilität technisch und wirtschaftlich realisieren lassen. Insbesondere durch das *Drone-as-a-Service*-Konzept wird deutlich, wie Daten und Dienste über Organisationsgrenzen hinweg integriert werden können, ohne zentrale Kontrolle aufzugeben. Das Service Discovery Tool schafft darüber hinaus eine Grundlage für skalierbare, wiederverwendbare und wirtschaftlich verwertbare Datenservices.

Abschließend wurde die Ergebnisdokumentation E3.3.6 zum Umsetzungsleitfaden für Daten- und Diensteökosysteme erstellt. Das Dokument beschreibt, wie aus konkreten Anwendungsfällen schrittweise ein Datenökosystem-Konzept entwickelt werden kann. Zentrales Element ist dabei die Co-Creation-Methode des Data Spaces Support Centre (DSSC), die zur strukturierten gemeinsamen Ausarbeitung von Anforderungen, Rollen, Datenflüssen und Governance-Aspekten genutzt wurde. Die im Leitfaden dargestellten Methodiken wurden im Projektverlauf entwickelt und verfeinert und lagen zu Projektbeginn noch nicht vor.

2.5 TP 4 Sichere Koordination von autonomen Fahrzeugen

Im Teilprojekt 4 untersuchte Fraunhofer, wie sich die gesetzlichen Anforderungen des Gesetzes zum autonomen Fahren durch ODD-basierte Daten- und Dienstarchitekturen praktisch unterstützen lassen. Ausgangspunkt war die konzeptionelle Ausarbeitung eines Rahmens für ODD-Definitionen und virtuelle OD-Repräsentationen von Betriebsbereichen (Operational Domains, OD). Fraunhofer analysierte hierzu relevante ODD-Standards (u. a. BSI PAS 1883, ISO 34503, ASAM OpenODD) und leitete Anforderungen an eine maschinenlesbare ODD- und OD-Repräsentation ab. Auf dieser Basis wurden Datenbedarfe und funktionelle Anforderungen an Gaia-X Datendienste für die Anwendungsfälle in TP 4 definiert sowie Implikationen aus dem rechtlichen Rahmen (insbesondere Betriebsbereichsgenehmigungen der AFBGV) in die Gestaltung der Dienste eingebracht. Die Anforderungen wurden fortlaufend mit der in TP 1 entwickelten Architektur, dem institutionellen Rollenmodell und den Gaia-X-spezifischen Governance-Vorgaben übereinandergelegt.

Wie in Abbildung 4 dargestellt, beschreiben ODD-Definitionen eine Vielzahl unterschiedlicher erforderlicher Bedingungen der Umgebung, in denen automatisierte Fahrzeuge operieren (sollen). Die Bedingungen müssen somit vorliegen (bzw. dürfen nicht vorliegen, je nach Modellierungsart der ODD), damit ein Fahrzeug bestimmungsgemäß automatisiert fahren

kann. Entsprechend müssen die ODD-Anforderungen mit den tatsächlich vorliegenden Bedingungen der OD verglichen werden. Während des Betriebs kann ein Fahrzeug hierfür vollständig oder zumindest in weiten Teilen auf eigenen Fahrzeugdaten für die Generierung einer OD-Repräsentation aufbauen, jedoch mit nachfolgenden Einschränkungen:

- Während des Betriebs und nicht im Vorfeld einer Flottenapplikation oder einer Fahrt
- Entlang einer Route nur im Rahmen der eigenen Sensorreichweiten (ggf. über Reichweitenerweiterungen über V2X o.ä.)

Um beide Einschränkungen zu adressieren, müssen über das Fahrzeug hinausgehende Datenquellen genutzt werden. Exemplarische Datenquellen sind ebenfalls in Abbildung 4 skizziert. Die Bandbreite verschiedener Datenkategorien kann je nach zu vergleichenden ODD-Umfängen stark anwachsen. Der Abdeckungsgrad einer OD-Generierung aus nur einer Datenquelle sinkt entsprechend und es sollten Datenquellen verschiedener Datenkategorien angebunden und zusammengeführt werden. Für dieses Anwendungsszenario ist der Einsatz eines dezentralen Gaia-X Datenökosystems prädestiniert.

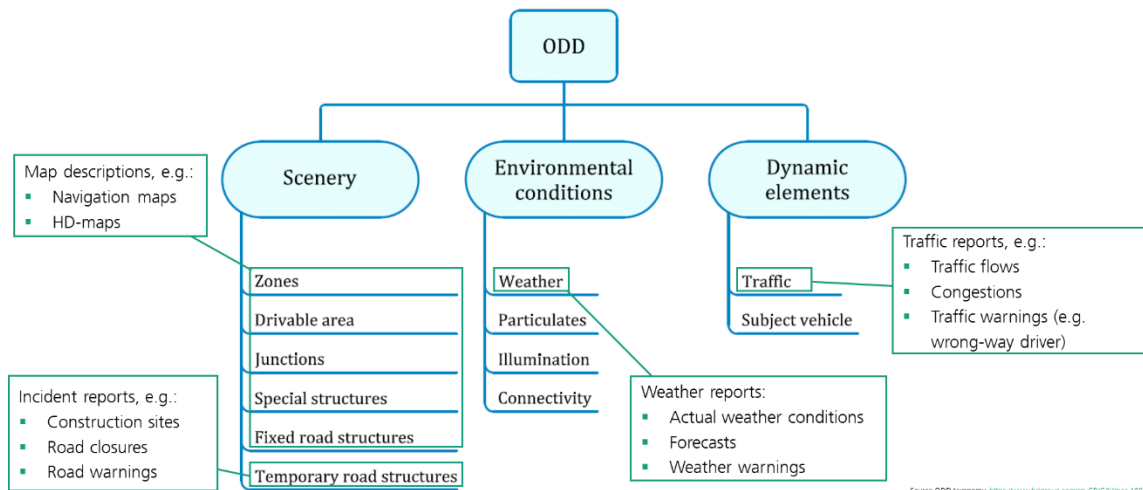


Abbildung 4: Ausgewählte Datenbedarfe für die Generierung von Operational Domain Repräsentationen (Abbildung in Anlehnung an bsi PAS 1883 bzw. ISO 34503)

Fraunhofer untersuchte sowohl die Anbindung von Datenquellen innerhalb eines Gaia-X Datenökosystems als auch Datenanbindungen über weitere externe Datenökosysteme wie Mobilithek oder Mobility Data Space (vgl. AP 2.3).

Die Anbindung analysierten Daten(-quellen) wurden darüber hinaus im Rahmen der Entwicklung von Verfahren und Funktionsmustern zur ODD-getriebenen Routenplanung und -analyse testweise implementiert. Zudem entwickelte Fraunhofer Algorithmen zur Generierung von OD-Repräsentationen und zum Vergleich dieser mit ODD-Definitionen (ODD-OD-Matching). Initial wurden für die Evaluierung von Anforderungen und Eigenschaften

der Straßen- und Verkehrsinfrastruktur reguläre Kartendaten wie Open Street Map genutzt, der Auflösungsgrad und Umfang jedoch nicht hinreichend für umfassende ODD-Definitionen ist. Insbesondere für spurfeine ODD-Anforderungen, müssen höher aufgelöste Kartenbeschreibungen eingebunden und verarbeitet werden. Fraunhofer entwickelte im Projekt Verfahren zur Generierung von OD-Eigenschaften aus hochgenauen digitalen Karten im ASAM OpenDRIVE Datenformat. Zu Testzwecken wurden Funktionsmuster für Datendienste entwickelt, die exemplarisch Spurbreiten und Kurvenradien aus OpenDRIVE-Karten hochgenau berechnen (s. Abbildung 5).

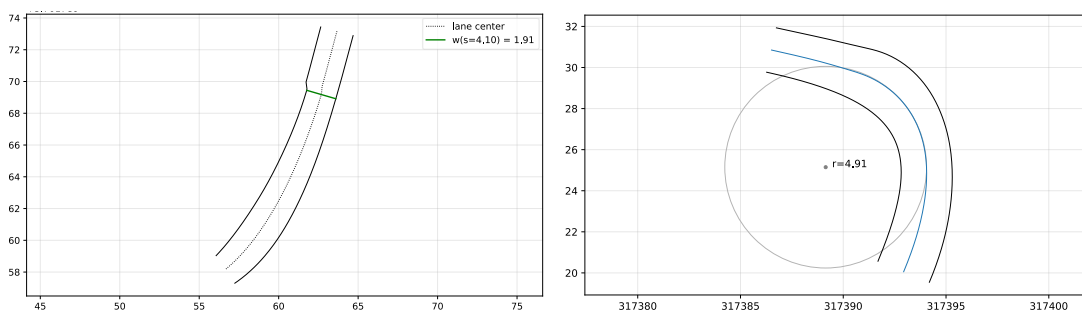


Abbildung 5: Exemplarische Berechnung von minimalen Fahrstreifenbreiten (links) und Kurvenradien (rechts) aus hochgenauen OpenDRIVE-Karten

Die Berechnungsergebnisse werden in eine OD-Repräsentation integriert, die das im Kartenmaterial umfasste Bedienegebiet abdeckt. Dem gegenüber kann der testweise entwickelte ODD-OD-Matching Dienst (parametrisierbare) ODD-Definitionen einlesen und verarbeiten. Es folgt ein Vergleich der Anforderungen aus der ODD mit den realen Bedingungen der OD-Repräsentation und eine Auswertung bzw. Klassifikation der Matching-Ergebnisse in „kompatibel“, „inkompatibel“ und „nicht bewertbar“. Kompatibel klassifizierte Streckenabschnitte und Knotenpunkte entsprechen allen ODD-Anforderungen, inkompatible widersprechen mindestens einer ODD-Anforderung und bei nicht bewertbaren Abschnitten ist die OD-Repräsentation unvollständig oder nicht hinreichend genau, um mindestens ein ODD-Attribut nicht adäquat vergleichen zu können.

Zur a-priori Analyse von geeigneten, d.h. ODD-kompatiblen, Routen automatisierten Flotten entwickelte Fraunhofer ein Funktionsmuster eines Analysewerkzeugs für ODD-OD-Vergleiche exemplarischer ODD-Definitionen für einen exemplarischen Betriebsbereich (s. Abbildung 6). Das Funktionsmuster unterstützt verschiedene Datenquellen und Datenkategorien sowie komplexe ODD-Anforderungen, die beispielsweise verschiedene Datenkategorien (Straßeneigenschaften und auf diesen Straßen vorliegende Witterungsbedingungen) aus unterschiedlichen Datenquellen zusammenführen. Während OD-Eigenschaften der Straßen-/Verkehrs-

infrastruktur häufig baulicher und damit statischer Natur sind, verändern sich Wetter- und Witterungsbedingungen dynamisch über die Zeit. Eine a-priori Bewertung der ODD-Kompatibilität für (statische) Straßeneigenschaften kann daher häufig simplifiziert in ODD-kompatibel oder ODD-inkompatibel differenziert werden. Bei zeitlich stark veränderlichen Bedingungen einer OD, muss dagegen häufig eine Auftretenswahrscheinlichkeit berechnet werden, die angibt, wie häufig bzw. wahrscheinlich ODD-kompatible bzw. ODD-inkompatible Bedingungen auftreten. Das Funktionsmuster von Fraunhofer hat über die testweise Anbindung von Wetterdaten diese Besonderheit bereits über einen prozentualen ODD-Kompatibilitätswert abgebildet. Das Funktionsmuster wurde von Fraunhofer auf der Hannover Messe 2024 einem öffentlichen Publikum vorgestellt und demonstriert.

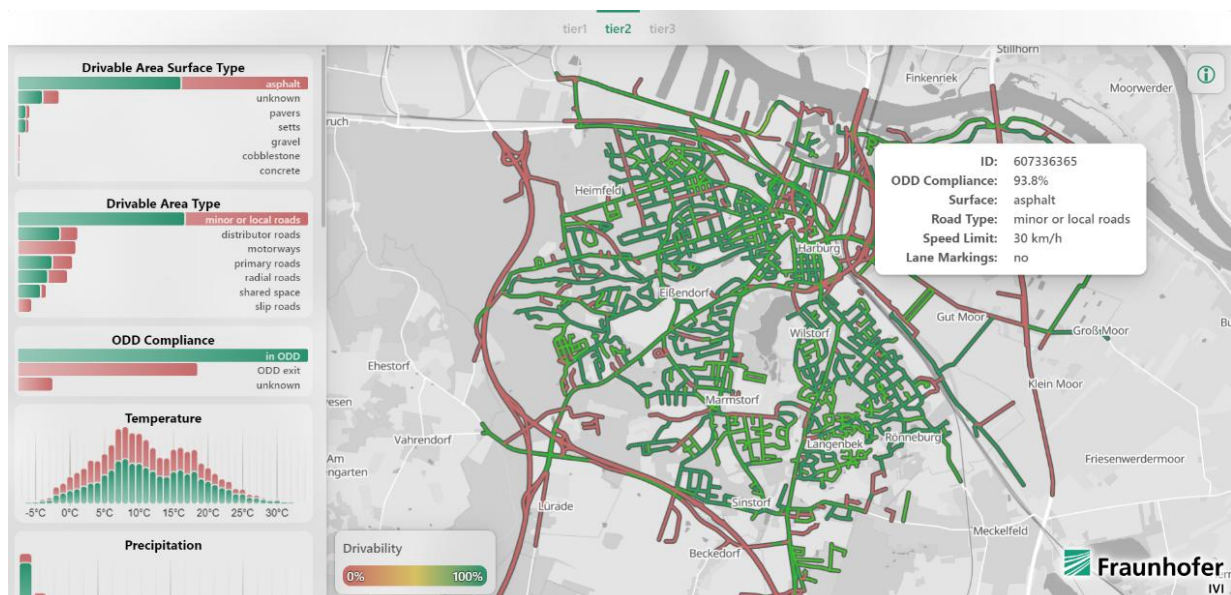


Abbildung 6: Funktionsmuster für ein Analysewerkzeug zur Kompatibilitätsbetrachtung exemplarischer ODD-Definitionen gegenüber den Realbedingungen einer OD für ein exemplarisches Streckennetz

Um neben a-priori Analysen auch während des automatisierten Betriebs Routen, die aktuell von automatisiert fahrenden Flotten befahren werden, hinsichtlich ihrer ODD-Kompatibilität zu überprüfen, entwickelte Fraunhofer im Projekt Verfahren und ein Funktionsmuster für einen ODD-Routenmonitoring-Dienst im AMS-Daten- und Dienste-Ökosystem. Dieser Dienst nutzt gleichermaßen den ODD-OD-Matching-Service, jedoch ist der Einsatzkontext sehr verschiedenen vom a-priori Anwendungsfall:

- (1) Anstatt historischer Daten für hochdynamische OD-Informationen als Beobachtungszeitraums zu nutzen, werden beim ODD-Routenmonitoring die jeweils aktuellen Daten für die einzelnen OD-Bedingungen ange bunden und analysiert.

- (2) Anstatt des vollständigen Betriebsbereichs bzw. vollständiger Routen, wird ausschließlich der vorausliegende Routenteil und die geschätzten Ankunftszeitpunkte auf den einzelnen Streckensegmenten entlang dieser analysiert.

Der erste Schritt für ein ODD-Routenmonitoring besteht in dem Auffinden und der Eignungsbewertung von Daten entlang der relevanten Routenabschnitte. Hierfür konnte auf das ebenfalls von Fraunhofer entwickelte Funktionsmuster des Service Discovery Tool zurückgegriffen werden (vgl. Abschnitt 2.4), um bspw. aktuelle Daten von wegseitigen Infrastrukturen, auch in dezentralen Datenökosystemen, auffinden und verarbeiten zu können. Für Testzwecke wurden anschließend exemplarische wegseitige Sensorsysteme des Projektpartners Bernard Technologies an den Monitoring-Dienst technisch angebunden. Ziel war es, erkannte Ereignisse entsprechender Sensorsysteme hinsichtlich zwei zentraler Kriterien zu bewerten:

- Wurde ein Ereignis entlang einer aktuell relevanten Route detektiert bzw. gemeldet
- Führt das Ereignis zu einer Bedingung, die inkompatibel zur ODD eines automatisierten Fahrzeugs auf dieser Route ist
- Existiert eine Lebenszeit o.ä. zu dem Ereignis, die Aufschluss darüber gibt, ob das ODD-kritische Ereignis noch vorhanden sein wird, wenn das automatisierte Fahrzeug diesen Bereich voraussichtlich erreicht

Da sich der Standard ASAM OpenODD als Datenformat für ODD- und OD-Informationen während der Projektlaufzeit noch in Entwicklung befand bzw. erst gegen Projektende veröffentlicht wurde, spezifizierte Fraunhofer gemeinsam mit den Projektpartnern, die Data-Provider-Rollen übernahmen, testweise bzw. temporär ein Datenformat auf Grundlage von ASAM OpenLABEL, da dieses Format – hauptsächlich vor dem Hintergrund von Szenario-Tagging-Anwendungen – bereits über eine integrierte ODD-Taxonomie nach bsi pas 1883 verfügte. In Rahmen auf den Projektergebnissen aufbauender Aktivitäten wird Fraunhofer jedoch zukünftig ASAM OpenODD software- und datentechnisch unterstützen.

Für die Entwicklung eines Gaia-X kompatiblen Funktionsmusters des ODD-Routenmonitorings untersuchte Fraunhofer im Zusammenwirken mit TP 2 geeignete Gaia-X Technologien, die für diesen konkreten Anwendungsfall am geeignetsten sind. Die Analyse ergab, eine Anbindung mit Hilfe des Atlas-X Gateways basierend auf dem von Kroschke im Projekt entwickelten Atlas-X Frameworks zu implementieren. Darauf aufbauend evaluierte Fraunhofer, wie die verschiedenen Services mit dem ODD-OD-Matching Service kommunizieren können. Eine Herausforderung ist dabei die Verbindung der Services über Push-Protokolle, wie bspw. MQTT. Ein Untersuchungsergebnis war, den Austausch der Credentials über die gesicherte Atlas-X

Verbindung durchzuführen. Die ausgetauschten Credentials werden dann genutzt, um die MQTT-Verbindung zwischen den Services herzustellen.

Abbildung 7 zeigt u.a. den Austausch der Credentials über Atlas-X. Auf der rechten Seite befindet sich der Datengeber- und links der Datennehmerservice. Sowohl Datennehmer als auch Datengeber beziehen ihre jeweiligen Gaia-X Credentials von der Atlas-X Authority.

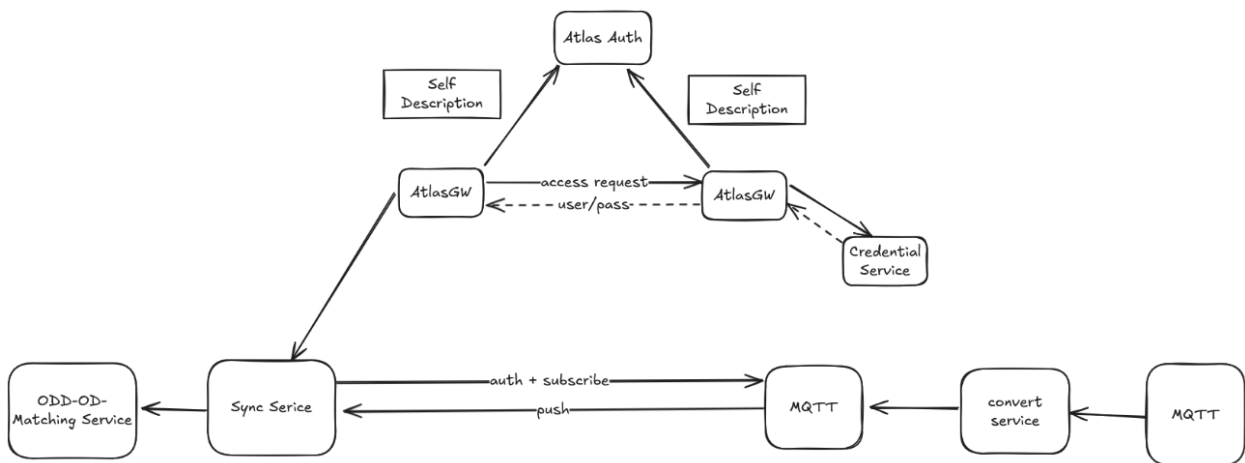


Abbildung 7: Vereinfachte Darstellung der Gaia-X Implementierung für das Funktionsmuster ODD-Routenmonitoring

Nach dem Austausch der Credentials für den Zugriff auf den MQTT Broker über die gesicherte Atlas-X Verbindung, kann der Sync Service auf der Client-Seite sich für Nachrichten des Datengebers registrieren und Aktualisierungen per Push Nachricht empfangen. Die empfangenen Nachrichten (Updates der Operational Domain) werden dann im ODD-OD-Matching Service verarbeitet.

Weitere Daten aus verschiedenen Quellen können nach diesem Funktionsmuster im ODD-OD-Matching-Service angebunden und zusammengeführt werden. Eine darauf aufbauende und testweise durchgeführte technische Weiterentwicklung, inkl. der Anbindung weiterer Daten/-quellen erfolgte in TP5 (s. Abschnitt 0). Die entwickelten Funktionsmuster wurden fortlaufend mit den beteiligten Projektpartnern getestet und weiterentwickelt. Zudem wurden die Funktionsmuster als Demonstratoren auf Messen und Veranstaltungen, beispielsweise auf der Hannover Messe 2024 und der Gaia-X 4 AMS Abschlussveranstaltung, einem öffentlichen Fachpublikum vorgestellt.

2.6 TP 5 Vernetzter und sicherer Rettungskorridor

Im Teilprojekt 5 untersuchte Fraunhofer, wie Gaia-X-Datenräume genutzt werden können, um ein zielgerichtetes Zusammenwirken bzw. deren Besonderheiten zwischen autonomer Flotten und Einsatzfahrzeugen in Rettungskorridorszenarien datengestützt zu untersetzen, so dass autonome Flotten auf Einsatzfahrzeuge geeignet reagieren können. Im Kern zielten die Analyse- und Entwicklungstätigkeiten von Fraunhofer darauf ab, eine möglichst frühzeitige Detektion von Rettungskorridorbedarfen für autonome Fahrzeuge zu detektieren sowie die Fahrzeuge bei der Planung und Ausführung geeigneter Aktionen zu unterstützen, damit sie zu keinem Hindernis für Einsatzkräfte auf ihren Rettungskorridoren werden.

Fraunhofer untersuchte hierfür u.a. wesentliche Prozessschritte für das Handling von Störungsereignissen von autonomen Flotten durch technische Aufsichten, unter Berücksichtigung von regulatorischen Vorgaben für autonome Fahrzeuge in Deutschland - insbesondere hinsichtlich AFGBV und StVG. Die grundsätzliche Wirkweise unterliegt dabei folgenden wesentlichen Vorgaben:

- Die letztendliche Ausführungsverantwortung für die konkrete Fahraufgabe obliegt der autonomen Fahrfunktion.
- Das autonome Fahrzeug fragt bei einer technischen Aufsicht um Freigabe für eine autonome Ausführung der Fahraufgabe, um einen risikominimalen Zustand zu verlassen.
- Das autonome Fahrzeug kann der technischen Aufsicht Vorschläge für ausführbare Fahrmanöver bereitstellen, aus denen die technische Aufsicht auswählen und die Ausführung anweisen bzw. freigeben kann.
- Die technische Aufsicht kann autonome Fahrzeuge jederzeit dazu anweisen, ein Manöver zur Überführung des Fahrzeugs in den risikominimalen Zustand einzuleiten. Wie dieses Manöver konkret ausgestaltet wird, liegt in der Verantwortung des autonomen Fahrzeugs und ist von den situativen Gegebenheiten abhängig.
- Eine direkte Remote-Steuerung des autonomen Fahrzeugs durch eine technische Aufsicht war im Zeitraum des Projektes durch die Regelungen von AFGBV und StVG ausgeschlossen. Hierfür wurde während der Projektlaufzeit eine neue Verordnung erarbeitet (Straßenverkehr-Fernlenk-Verordnung – StVFernLV). Wie beide Regularien zusammenwirken können bzw. im Widerspruch stehen, konnte auf Grundlage des verfügbaren Arbeitsstandes der StVFernLV während der Projektlaufzeit noch nicht aufgelöst werden.

Diese grundsätzlichen Wirkweisen spannen den Handlungsraum von autonomen Fahrzeugen und technischen Aufsichten auch für Szenarien auf, in denen Rettungskorridore für Einsatz-

fahrzeuge unterstützt werden müssen. Initial untersuchte Fraunhofer den Anwendungsraum von Gaia-X Datenökosystemen für Rettungsgassenszenarien und dem Zusammenwirken von autonomen Fahrzeugen und technischen Aufsichten. Hiervon ausgeklammert sind mögliche Mehrwerte für autonome Fahrzeuge, in denen sie ohne Unterstützung von technischen Aufsichten Rettungsgassenszenarien vollständig unterstützen können. Im Zusammenwirken mit technischen Aufsichten verdeutlichen jedoch die oben aufgezeigten Wirkweisen, dass die zusätzlichen Koordinations- und Freigabeprozesse zwischen autonomem Fahrzeug und technischer Aufsicht Zeit in Situationen kosten, die insbesondere für die Bildung von einer Rettungsgasse als zeitkritisch zu bewerten sind. Die Bildung von Rettungsgassen läuft gerade in urbanen Betriebsbereich hochdynamisch ab. Falls ein autonomes Fahrzeug in dieser Situation eine Interaktion mit einer technischen Aufsicht benötigt, wird eine technische Aufsicht maßgeblich das vom autonomen Fahrzeug bereitgestellte Lagebild nutzen, um mit möglichst geringen Zeitbedarfen ein Situationsbewusstsein zu generieren. Unmittelbare Mehrwerte durch Gaia-X Datenökosysteme konnte Fraunhofer hierfür nicht evaluieren.

Jedoch können Datenanbindungen aus einem Gaia-X Datenökosystem dabei unterstützen, den Wahrnehmungsbereich autonomer Fahrzeuge bzw. zugehöriger technischer Aufsichten signifikant zu erweitern. Ziel für Fraunhofer war es hierbei, Daten aus Gaia-X zu nutzen, um mögliche Rettungskorridore räumlich-zeitlich hinreichend früh zu detektieren, so dass eine technische Aufsicht ein autonomes Fahrzeug so koordinieren kann, dass eine Beteiligung in einer Rettungsgasse vermieden werden kann. Hierfür müssen die Routen von Einsatzkräften mit denen von autonomen Fahrzeugen räumlich-zeitlich übereinandergelegt werden, um potenzielle Konfliktpunkte zu identifizieren. Dabei muss beachtet werden, dass die Routen von Einsatzkräften als hochgradig sensible Informationen behandelt werden müssen. Für die vertrauensvolle, gezielte und nur zeitweise Nutzung dieser Routeninformationen für die Identifikation von Konfliktpunkten mit autonomen Fahrzeugen eignet sich die Verwendung von Technologien eines Gaia-X Datenökosystem.

Fraunhofer entwickelte Verfahren für einen Gaia-X Service, der Routen von Einsatzkräften und autonomen Fahrzeugen vergleicht und potenzielle Konfliktpunkte räumlich und zeitlich identifiziert und Leitstellen technischer Aufsichten meldet. Zudem entwickelte Fraunhofer zu Test- und Demonstrationszwecken ein Funktionsmuster für einen solchen Gaia-X Service. Hierfür wurde testweise eine Datenanbindung über Gaia-X zu exemplarischen Einsatzrouten von Rettungsfahrzeugen gemeinsam mit dem Projektpartner Consider it implementiert. Die Routen der autonomen Fahrzeuge wurde testweise über eine Anbindung an eine virtuelle Leitstelle von technischen Aufsichten implementiert, die Fraunhofer selbst zu Erprobungszwecken bereitgestellt hat. Sobald das Funktionsmuster von Fraunhofer Routenkonflikte, also räumlich-zeitliche Routenüberlagerungen zwischen Einsatzkräften und autonomen Fahr-

zeugen, detektiert und meldet (s. Abbildung 8), kann eine technische Aufsicht betroffene autonome Fahrzeuge derartig koordinieren, dass diese nicht mehr vom Routenkonflikt betroffen sind. Die autonomen Fahrzeuge müssen somit keine Rettungsgasse mehr bilden, da sie beispielsweise über ein Re-Routing oder einen kurzen Zwischenhalt den Streckenabschnitt oder Knotenpunkt gar nicht oder erst dann passieren, nachdem die Einsatzkräfte diesen bereits durchfahren haben.

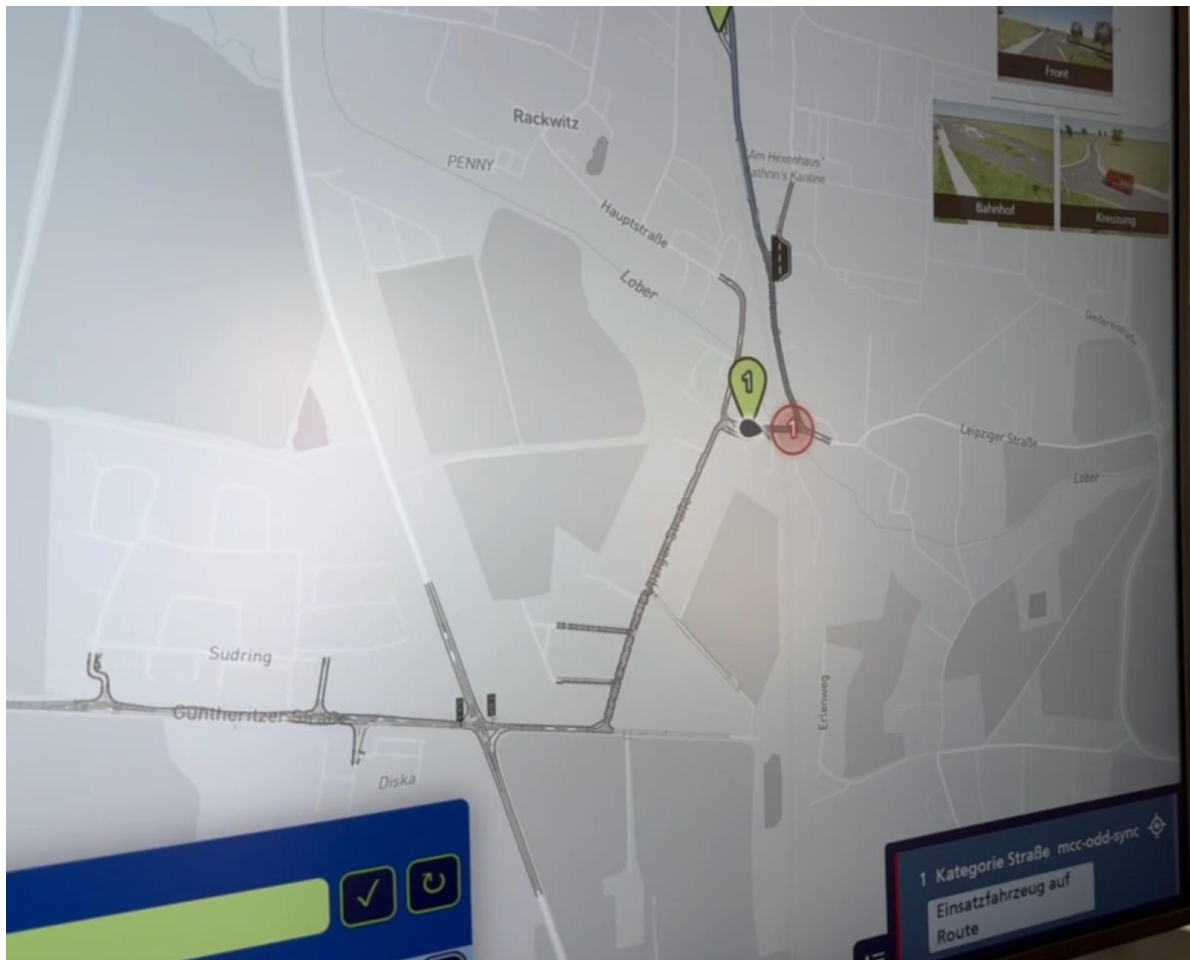


Abbildung 8: Demonstration der exemplarischen Funktionsweise eines Gaia-X Dienstes zur Detektion von Routenkonflikten zwischen Einsatzkräften und autonomen Fahrzeugen auf der Gaia-X 4 AMS Abschlussveranstaltung

Die intendierte Wirkung des Funktionsmusters konnte Fraunhofer als Gaia-X Gesamtdemonstrator mit den Funktionsmustern von Fraunhofer aus TP4 sowie unter Mitwirkung der Projektpartner Bernard Technologies und Consider it als exemplarische Gaia-X Datenquellen im Rahmen der Gaia-X 4 AMS Abschlussveranstaltung erfolgreich demonstrieren.

2.7 TP 6 Austausch innerhalb der Projektfamilie Gaia-X 4 Future Mobility

Im Rahmen des Arbeitspakets 6 übernahm das Fraunhofer IPK umfassende Koordinations- und Leitungsaufgaben im Projekt. Dazu gehörte die inhaltliche und zeitliche Steuerung des Teilprojekts 1 und Teilprojekts 3. Zusätzlich verantwortete das Fraunhofer IPK mehrere Arbeitspakete (AP1.2, AP1.3, AP2.3 und AP3.3) und unterstützte die weiteren Aufgaben durch organisatorische Abstimmungen und regelmäßig mit den Projektkoordinatoren abgestimmt.

Fraunhofer IPK organisierte und führte während der Projektlaufzeit ein zentrales Konsortialtreffen in Berlin durch und war darüber hinaus auf mehreren Fachveranstaltungen präsent. Unter anderem wurden das Projekt auf der Market-X in Wien mit einem eigenen Messestand sowie auf der Hannover Messe vorgestellt. Für solche Tagungen und Ausstellungen bereitete das Fraunhofer IPK kontinuierlich aktualisierte inhaltliche Beiträge vor, darunter Präsentationen und Demonstrationsmaterial. In der Abschlussveranstaltung präsentierten die Partner drei Demonstratoren – zwei davon durch das Fraunhofer IPK und einer durch das Fraunhofer IVI. Darüber hinaus wurde ein zusätzlicher Beitrag zu Geschäftsmodellen gemeinsam mit Industriepartnern vorbereitet und moderiert.

Da Fraunhofer aktiv an weiteren Projekten im Rahmen von Gaia-X 4 Future Mobility beteiligt war (wie Gaia-X 4 PLC-AAD und Gaia-X 4 ROMS), fand im Verlauf der Projekte ein intensiver Austausch zwischen den Projekten statt. Dies eröffnete Möglichkeiten, Beiträge zur Entwicklung von Technologien zu leisten, die zwischen den verschiedenen Datenökosystemen austauschbar sind. Ein Beispiel hierfür ist die Zahlungsarchitektur, die zwischen den Projekten Gaia-X 4 AMS und Gaia-X 4 PLC-AAD abgestimmt wurde (siehe Publikation Rosa Cencic et al., 2024, "A Payment Architecture for Decentralized Data Spaces Based on Gaia-X"), wodurch sichergestellt wurde, dass Zahlungslösungen auch in Ökosystemen mit erheblich unterschiedlichen Architekturen kompatibel sind.

Darüber hinaus war Fraunhofer an Aktivitäten des Base-X beteiligt, das darauf abzielte, eine Kombination der technologisch ausgereiftesten Lösungen aus den einzelnen Projekten zusammenzuführen.

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

3.1 Notwendigkeit

Das autonome Fahren wird zukünftig in Europa einen Zuwachs erfahren. Damit die Verkehrssicherheit und die Effizienz des Verkehrs erhöht werden können, müssen autonome Fahrzeuge unter anderem auf robuste und zuverlässige Daten zurückgreifen. Gaia-X ist hier von besonderem Interesse des Bundes für die Entwicklung einer EU-weiten sicheren und vernetzten Dateninfrastruktur. Eine der technologischen Herausforderungen ist die Entwicklung von souveränen Daten-Services, die die Identität von Quelle und Empfänger der Daten in diesen kritischen Bereichen gewährleisten und die Zugriffs- und Nutzungsrechte auf die Daten zur Unterstützung der Anwendungsfälle sicherstellen.

Gaia-X als Grundlage für eine vernetzte und sichere Dateninfrastruktur

Das Gaia-X-Konzept liefert eine flexible, dezentral organisierte und leicht skalierbare Systemarchitektur für eine vernetzte und sichere Dateninfrastruktur. Es zielt nicht nur auf eine nationale Plattform, sondern die Ausweitung auf EU-Ebene ist bereits im Gange (Aufbau EMDS). Die Einbettung in den Kontext von Gaia-X ermöglicht eine stets bedarfsgerechte Zusammenstellung der jeweils benötigten Daten/Dienste in Passung sowohl zum Anforderungsprofil als auch der aktuellen Marktlage im Bereich der Mobilitätsdienste. Die entstehenden Kosten können für die Nutzung mit tatsächlichen Bedarfen in Relation gesetzt und sehr gut argumentiert werden.

Im Rahmen der Umsetzung dieses Projektes findet ein äußerst wertvoller Kompetenzaufbau im Bereich eines vernetzten und sicheren Datenservice-Ökosystems besonders in den folgenden Bereichen statt:

- Schnittstellen der Gaia-X Architektur zu bestehenden Mobilitätsplattformen;
- Konzept für den Datenschutz und Datensicherheit bei vernetzten Anwendungen mit Safety-Relevanz (z.B. Rettungsmobilität)
- Performance Monitoring von innovativen und sicheren Betriebsumgebungen der vernetzten Mobilität
- Digitaler Forensik im Schadensfall als Basis für ein Haftungsregime

Anforderungen an Datenaustausch durch das Gesetz zum autonomen Fahren

Vor allem im Hinblick auf das neue Gesetz der Bundesregierung zum autonomen Fahren wird die Notwendigkeit der Zuwendung deutlich: Mit der neuen Gesetzgebung zum autonomen Fahren besteht für die Applikation von Fahrfunktionen mit höheren Automatisierungsgraden (L4/L5) die Anforderung für die Festlegung und dynamische Anpassung individueller Betriebsbereiche. Es ist jederzeit zu bestimmen, ob ein Fahrzeug zu einer bestimmten Zeit

unter bestimmten Bedingungen mittels automatischer Funktionen betrieben werden kann und wie auf dynamische Situationsänderungen zu reagieren ist. Dabei ist die Verfügbarkeit von einem großen Datensatz notwendig. Neben möglichst exakten statischen Kartendaten sollten hier auch dynamische Daten vorgehalten werden. Je größer der Pool der vorgehaltenen Daten ist, desto besser sind Überdeckungen mit den Anwendungsgrenzen der Fahrzeugautomation (ODD) errechenbar. Gaia-X bietet hierfür den optimalen Anknüpfungspunkt.

Generische Lösungsbausteine für weitere Anwendungsdomänen

Das anvisierte Datenservice-Ökosystem auf Grundlage von Gaia-X zeigt verschiedene generische Bausteine, die sich hinsichtlich ihrer Relevanz im Bereich des automatisierten und vernetzten Fahrens sehr gut plausibilisieren lassen, jedoch nicht auf diesen Anwendungsbereich beschränkt sind. Relevante Anwendungsfelder werden in der Stadtplanung und Modernisierung von Verkehrsinfrastruktur gesehen, damit insbesondere das automatisierte und vernetzte Fahren an einer steigenden Zahl von Straßen möglich ist und nicht “an jeder Straßenecke” wieder ein Randbereich für automatisiertes Fahren auftritt. Im Rahmen der Rettungsmobilität sind außerdem Erweiterungen zum Austausch medizinischer Daten mit den Rettungsfahrzeugen, prozedurale Optimierungen im Bereich der Übergabe von Patienten an bspw. Krankenhäuser oder auch der gesamte Bereich der Vernetzung von boden- und luftgebundener Rettungsmobilität denkbar. Darüber hinaus sind auch Themen im Bereich der Verkehrssteuerung des Gesamtverkehrssystems wie auch funktionsorientierte Themen der Luft- und Raumfahrt, der Robotik, sowie der Energie-Domäne relevant.

3.2 Angemessenheit

Die Fraunhofer-Institute erzielten im Projekt zentrale wissenschaftliche und methodische Fortschritte. Ein wesentliches Ergebnis bestand darin, die bestehende Lücke zwischen industrieller Praxis und Forschung zu verringern. Da Datenräume zu Projektbeginn ein junges Konzept waren und in der Industrie kaum Anwendung fanden, lag der Fokus zunächst darauf, diese Grundlagen verständlich und nutzbar zu machen.

Ein weiteres Kernziel war es, ausgehend von konkreten Anwendungsfällen die Einführung und Durchsetzung von Datenökosystemen methodisch zu unterstützen. Zu Projektbeginn standen hierfür keine etablierten Vorgehensmodelle zur Verfügung. Im Projektverlauf wurden daher eigene Konzepte entwickelt, beispielsweise zur Ableitung von Anforderungen an Datenökosysteme aus Use Cases oder zur technologieunabhängigen Übertragung von Daten und Diensten in solche Ökosysteme. Damit konnten substantielle wissenschaftliche Erkenntnisse generiert werden.

Darüber hinaus wurden relevante Basistechnologien wie Identity Registries, DID-basierte Lösungen und Datentransferprotokolle intensiv untersucht und weiterentwickelt. Die Fraunhofer-Institute brachten sich dabei nicht nur technisch ein, sondern spiegelten die Projektergebnisse systematisch in Organisationen wie IDSA oder DSSC zurück und leisteten so einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung der europäischen Innovationslandschaft.

Insgesamt steht der erzeugte Mehrwert des Projekts in einem angemessenen Verhältnis zu den eingesetzten Ressourcen und stärkt nachhaltig die Grundlagen für interoperable, vertrauenswürdige Datenökosysteme.

4 Verwertung der Ergebnisse von Fraunhofer

Im Verlauf des Projekts wurden von den beteiligten Fraunhofer-Instituten zahlreiche Aktivitäten durchgeführt, die die Verwertung der Ergebnisse deutlich gestärkt haben. Fraunhofer IPK hat mehrere Publikationen im Laufe des Projekts erarbeitet und die Ergebnisveröffentlichungen im Gesamtprojekt aktiv mitgestaltet. Darüber hinaus wurden verschiedene Veranstaltungen und Workshops organisiert, die sowohl dem Wissenstransfer als auch dem Aufbau neuer Netzwerke dienen.

Der Wissenstransfer erfolgte u. a. über Workshops, Vorträge und Austauschformate – darunter der Beitrag auf dem Prostep-ivip-Symposium 2024 mit rund 700 Teilnehmenden („Gaia-X: Unlocking new business opportunities in Europe’s data economy“). In folgenden werden diese zusammengefasst, und in 4.1 und 4.2 detaillierter aufgelistet.

Publikationen: 6 veröffentlicht, 3 noch geplant für 2026. Unter Kapitel 6 sind die Veröffentlichungen durchgelistet.

Prototypen/Demonstratoren: (1) Drone Selection Service(TRL6), (2) Service Discovery (TRL6) Anzahl, Reifegrad (TRL), in E3.3.3 detailliert.

Veranstaltungen/Wissenstransfer: Workshops, Vorträge, Anzahl der Teilnehmenden.

- Vortrag bei Prostep ivip Symposium 2024 (~700 Teilnehmende): Gaia-X: Unlocking new business opportunities in Europe’s data economy (Dr. Maiara Rosa Cencic und Ralf Neubauer).
- Vortrag bei Prostep ivip Symposium 2024 (~100 Teilnehmende) Navigating the Gaia-X Approach: Conceptualizing Drone Use Case in Gaia-X Mobility domain (Cansu Tanrikulu)
- Buzz Sessions in 2023 and 2024, online mit ca. 50 Teilnehmende, Data Ecosystems Shaping Europe’s digital future (Cansu Tanrikulu)
- Techday: Data Ecosystems in 2025, online mit ca. 50 Teilnehmende. Das (Cansu Tanrikulu, Maiara Rosa Cencic, Konstantin Kondak und Partner aus andere Projekten aus dem Projektfamilie)
- Hannover Messe Stand im Jahr 2023 und 2024

4.1 Wirtschaftliche Verwertung

Durch die im Projekt erzielten Ergebnisse ergeben sich für unser Institut klare wirtschaftliche und wissenschaftliche Erfolgsaussichten über das Projektende hinaus. Die im Projekt entwickelten Methoden, Architekturen und Tools – insbesondere im Bereich Service Discovery, Drohnenselektion, Ontologie- und Methodikentwicklung für Datenökosysteme – haben die Kompetenzbasis unseres Instituts deutlich gestärkt und

unsere Sichtbarkeit im Mobilitäts- und Datenraumkontext erhöht. Dies führte bereits während der Projektlaufzeit zu neuen Kooperationsanfragen und legt die Grundlage für zusätzliche Drittmittelprojekte in den kommenden Jahren.

Darüber hinaus ermöglichen die im Projekt aufgebauten technischen Artefakte und methodischen Ansätze eine direkte Wiederverwendung in zukünftigen Forschungs- und Transferprojekten, insbesondere in den Bereichen digitale Zwillinge, datengetriebene Mobilität, kollaborative Geschäftsmodelle und verteilte Dienste. Die aktive Mitwirkung in Ökosystemen wie DSSC, IDSA und Ökosystem 4.0 erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass unser Institut als Partner in Folgevorhaben eingebunden wird.

4.2 Wissenschaftliche Verwertung

- Konferenzbeitrag in ICDEc 2024 (International Conference on Digital Economy) mit dem Titel ["A Payment Architecture for Decentralized Data Spaces Based on Gaia-X"](#) (Rosa Cencic et al).
- Magazinbeitrag in Industrie 4.0 Management „How to Gaia-X? – Ein Vorgehensmodell zur erfolgreichen Teilnahme an interoperablen und dezentralen Datenökosystemen am Beispiel von Gaia-X „ Dezember 2022 (Tanrikulu, Konietzko)
- Konferenzbeitrag in AMCIS2023 mit dem Titel [„Conception and Requirements Identification of Gaia-X-Based Service Offerings“](#) (Tanrikulu et al)
- Magazinbeitrag in digital engineering mit dem titel [„Mit Gaia-X Europas digitale Zukunft gestalten“](#) oktober 2023 (Tanrikulu, Rosa Cencic)
- Konferenzbeitrag in PACIS2024 über [„Value co-creation through digital twins in decentralized data ecosystems“](#) (Tanrikulu et al)
- Workshopbeitrag in Semantics in Dataspaces 2024 Workshop mit dem Titel [“Semantic Data Link: Bridging Domain-Specific Needs with Universal and Interoperable Semantic Models”](#) (Stäbler, Moosmann, Dittmer, Wang, Köster, Lange)
- Magazinbeitrag in Data in Brief mit dem Titel [“Business models and organizational roles of data spaces: A framework for value creation in data ecosystems”](#) (Gessler, Rosa Cencic et al.)

Für Fraunhofer Institute ergeben sich aus dem Projekt substantielle wissenschaftliche Fortschritte und nachhaltige Impulse für zukünftige Forschungsarbeiten. Bereits während der Projektlaufzeit konnten zentrale Ergebnisse in wissenschaftlichen und praxisorientierten Formaten publiziert und einem internationalen Publikum vorgestellt werden. Besonders hervorzuheben ist die Auszeichnung mit dem Best Paper Award auf der International

Conference on Digital Economy (ICDEc 2024) für die Publikation “A Payment Architecture for Decentralized Data Spaces Based on Gaia-X” (Rosa Cencic, Maiara et al., 2024), die die hohe Relevanz und Qualität der entwickelten Zahlungs- und Abrechnungsarchitektur belegt.

Darüber hinaus wurde eine Veröffentlichung in der international anerkannten Fachzeitschrift *Data in Brief* realisiert. Die Publikation mit dem Titel „Business models and organizational roles of data spaces: A framework for value creation in data ecosystems“ kombiniert die vom Fraunhofer-Institut entwickelten methodischen Frameworks im Bereich Geschäftsmodelle mit den von der Zeppelin Universität erarbeiteten Ansätzen zur Governance und demonstriert somit die Integration von Ergebnissen aus verschiedenen Arbeitspaketen.

Darüber hinaus wurden weitere Forschungsergebnisse in renommierten Konferenz- und Fachmedien platziert, u. a. in *Industrie 4.0 Management* (2022) (Tanrikulu & Konietzko, „How to Gaia-X? – Ein Vorgehensmodell zur erfolgreichen Teilnahme an interoperablen und dezentralen Datenökosystemen am Beispiel von Gaia-X“), *Digital Engineering* (2023) (Tanrikulu & Rosa Cencic, „Mit Gaia-X Europas digitale Zukunft gestalten“), auf der *AMCIS 2023* (Tanrikulu et al., „Conception and Requirements Identification of Gaia-X-Based Service Offerings“) sowie der *PACIS 2024* (Tanrikulu et al., „Value co-creation through digital twins in decentralized data ecosystems“). Diese Beiträge adressieren insbesondere methodische und architekturelle Grundlagen für datenökosystembasierte Services, Vorgehensmodelle für Gaia-X-konforme Implementierungen sowie Wertschöpfung und Co-Creation in dezentralen Datenräumen. Die kumulative Wirkung dieser Veröffentlichungen stärkt die wissenschaftliche Sichtbarkeit unseres Instituts im Forschungsfeld dezentraler Datenökosysteme, digitaler Zwillinge und serviceorientierter Architekturen. Diese Ergebnisse bilden eine solide Basis für zukünftige Abschlussarbeiten, Promotionsvorhaben und Kooperationsprojekte mit Industrie- und Forschungspartnern.

Die enge Verzahnung mit relevanten Gaia-X-Gremien sowie mit externen Ökosysteminitiativen wie IDSA oder DSSC ermöglicht zudem einen direkten Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse in Standardisierungsaktivitäten. Damit leistet es einen nachweisbaren Beitrag zur Weiterentwicklung der technischen Grundlagen von Datenräumen sowie zu konzeptionellen Referenzmodellen für den vertrauenswürdigen Datenaustausch. Durch die kontinuierliche Teilnahme an Arbeitsgruppen und Fachformaten im Gaia-X-Kontext wird erwartet, dass diese Rolle auch nach Projektende weiter gestärkt wird.

5 Fortschritt durch Dritte auf dem Gebiet des Vorhabens

Ein Großteil der während der Projektlaufzeit gewonnenen Erkenntnisse wurden in die Gaia-X Open-Source Communities, an denen Fraunhofer beteiligt ist, zurückgespiegelt. Dies waren insbesondere die Eclipse Dataspace Components (EDC), die Eclipse XFSC Federation Services, und das Gaia-X Clearing House. Insbesondere am Anfang des Projektes lag ein Fokus auf die Verwendung der EDC, um die Anwendungsfälle des Projektes umzusetzen. Hierbei wurden einige Anforderungen an die EDC identifiziert, welche dann durch Fraunhofer Mitarbeiter an die EDC-Community herangetragen wurde, und in dortigen Arbeitsgruppen diskutiert wurde. Dies trug dazu bei die EDC weiterzuentwickeln und marktreifer zu machen.

Zu Beginn der Projektlaufzeit standen die Eclipse XFSC Federation Services noch am Anfang ihrer Entwicklung, weshalb innerhalb dieses Projektes initial die Service Extensions der Eclipse Dataspace Components verwendet wurden. Parallel wurden die XFSC-Komponenten jedoch weiterentwickelt. Hierbei wurde insbesondere die Entwicklung des XFSC Federated Catalogue von Fraunhofer mit betreut, um einen Einsatz für mobilitätsspezifische Anwendungsfälle zu ermöglichen. Hierfür wurde ein zweiwöchentlicher Community Call durchgeführt, in dem die Bedarfe aus diesem Projekt thematisiert, strukturiert gesammelt (in Form von GitLab Issues), und implementiert wurden. Dies beinhaltete auch eine Integration des XFSC Federated Catalogues mit dem Katalog der EDC.

Weiterhin wurde während der Projektlaufzeit die Base-X Semantics Gruppe ins Leben gerufen, welche sich mit der Entwicklung eines (Meta-)Datenmodells für ausgewählte Use Cases der Projektfamilie befasst hat. Hier kam es auch zur Entwicklung von Tools wie dem Semantic Data Link, welches die Erstellung von semantischen Modellen für Domänenexperten vereinfacht.

6 Erfolge und geplante Veröffentlichungen

Erfolgte Veröffentlichungen:

Gessler, Jens; Rosa Cencic, Maiara et al. "Business models and organizational roles of data spaces: A framework for sustainable value creation." *Data in Brief* (2025): 111795.

Rosa Cencic, Maiara, et al. "A Payment Architecture for Decentralized Data Spaces Based on Gaia-X." *International Conference on Digital Economy*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024.

Tanrikulu, Cansu, et al. "Value co-creation through digital twins in decentralized data ecosystems." (2024).

Tanrikulu, Cansu, and Maiara Rosa Cencic. "Mit Gaia-X Europas digitale Zukunft gestalten." *Digital-Engineering-Magazin* (2023).

Geplante Veröffentlichungen:

Philip Meier, Cansu Tanrikulu, Sebastian Lorenz, Lenny Hofmann, Sebastian Knauf, Rico Auerswald, Martin Meraner, Julian Schindler, Max Ziermann, Sebastian Pretzsch and Anika Lobig, "Decentralized data ecosystems for routing autonomous vehicles according to their operational design domain" TRA2026

Anika Lobig, Sten Ruppe, Philip Meier, Lenny Hofmann, Cansu Tanrikulu, Paul Moosmann and Sebastian Lorenz, "Implementing a Gaia-X Data Space for Automated Driving – Lessons Learned and Recommendations" TRA2026

Edmir Xhoxhi, Klara Dolos, Cansu Tanrikulu, Joachim Schade, Liron Ahmeti, Christian Winter, Tim-Daniel Stumpf, Sten Ruppe, "Enhancing Road Rescue Operations through Mobility Services: Insights from the Gaia-X 4 AMS Project" TRA2026

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Autonomes Fahrzeug in einer Baustellensituation	3
Abbildung 2: Fahrzeuge halten vor einem Unfallfahrzeug an.	4
Abbildung 3: Datenbezug aus dem MDS und aus der Mobilithek über den MDS.....	14
Abbildung 4: Ausgewählte Datenbedarfe für die Generierung von Operational Domain Repräsentationen (Abbildung in Anlehnung an bsi PAS 1883 bzw. ISO 34503)	18
Abbildung 5: Exemplarische Berechnung von minimalen Fahrstreifenbreiten (links) und Kurvenradien (rechts) aus hochgenauen OpenDRIVE-Karten	19
Abbildung 6: Funktionsmuster für ein Analysewerkzeug zur Kompatibilitätsbetrachtung exemplarischer ODD-Definitionen gegenüber den Realbedingungen einer OD für ein exemplarisches Streckennetz.....	20
Abbildung 7: Vereinfachte Darstellung der Gaia-X Implementierung für das Funktionsmuster ODD-Routenmonitoring	22
Abbildung 8: Demonstration der exemplarischen Funktionsweise eines Gaia-X Dienstes zur Detektion von Routenkonflikten zwischen Einsatzkräften und autonomen Fahrzeugen auf der Gaia-X 4 AMS Abschlussveranstaltung.....	25

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Abgedeckte Schwerpunktthemen	5
Tabelle 2: Datenraumanalyse 1/2	11
Tabelle 3: Datenraumanalyse 2/2	12