

Konsortialabschlussbericht

Autowerkstatt 4.0

Förderwettbewerb „Innovative und praxisnahe Anwendungen und Datenräume im digitalen Ökosystem GAIA-X“

Projektpartner	Kürzel	Förderkennzeichen
Auto - Intern GmbH	AI	68GX21005E
DEKRA Digital GmbH	DEKRA	68GX21005B
Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz	DFKI	68GX21005D
ECO - Verband der Internetwirtschaft	ECO	68GX21005G
Hochschule Osnabrück	HSOS	68GX21005C
LMIS AG	LMIS	68GX21005A
Technische Hochschule Georg Agricola der DMT-Gesellschaft für Lehre und Bildung mbH	THGA	68GX21005F
Vergölst GmbH	VERGÖLST	68GX21005H

Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis	5
Planung und Ablauf des Vorhabens	6
Projektpartner und Laufzeit.....	6
Ablauf des Vorhabens	6
Geplante Meilensteine	8
Aufgabenstellung	9
Wissenschaftlicher und technischer Ausgangszustand.....	9
Erreichte Ergebnisse.....	11
Arbeitspaket 1.1 Projektmanagement & Controlling.....	11
Arbeitspaket 1.2 Projektübergreifende Kommunikation.....	12
Arbeitspaket 1.3 Stakeholder Management	12
Arbeitspaket 1.4 Marketing & Öffentlichkeitsarbeit	14
Arbeitspaket 1.5 Community & Netzwerke	16
Arbeitspaket 2.1 Gaia-X Anbindung & Integration.....	17
Arbeitspaket 2.2 Containerinfrastruktur	27
Arbeitspaket 2.3 Vertrauenswürdige KI-Umgebung	30
Arbeitspaket 2.4 Basiscontainer für KI-Entwicklung	30
Arbeitspaket 2.5 Datenanbindung	33
Arbeitspaket 3.1 Device Management & Edge Deployment.....	33
Arbeitspaket 3.2 Systemdesign: Diagnosesystem	34
Arbeitspaket 3.3 Software-/Hardware-Integration.....	36
Arbeitspaket 3.4 Weiterentwicklung: Messsystem Hardware	38
Arbeitspaket 3.5 Entwicklung Messsystem-Software	45
Arbeitspaket 4.1 Administration & Konfigurationswerkzeuge	48
Arbeitspaket 4.2 Design & Umsetzung der Plattform	54
Arbeitspaket 4.3 Falldaten & KI-Management	55
Arbeitspaket 4.4 Marktplatz & Geschäftsmodellmodellierung	60
Arbeitspaket 4.5 KI-Verwaltungswerkzeuge	63
Arbeitspaket 5: KI-Entwicklung.....	64
Arbeitspaket 5.1 Datenanalyse & Fehlergruppenauswahl.....	66
Arbeitspaket 5.2 Erstellung der Wissensrepräsentation	68
Arbeitspaket 5.3 Root Cause Analyse	70

Arbeitspaket 5.4 KI-Basiskomponenten	73
Arbeitspaket 5.5 KI-Fehlerdiagnose	75
Arbeitspaket 5: Zertifizierung	76
Arbeitspaket 6.1 Schulungskonzeption & -materialerstellung	80
Arbeitspaket 6.2 Lernplattform & Schulungsangebote	81
Arbeitspaket 6.3 Rollout & Feedback	82
Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit	85
Wissenschaftlicher Nutzen und Verwertung.....	85
Wirtschaftlicher Nutzen und Verwertung	86
Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	87
Zusammenarbeit und Fortschritte bei anderen Stellen.....	87
Erfolge und geplante Veröffentlichungen	88

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Darstellung des im Projekt fokussierten Use Cases	8
Abbildung 2 – Ergebnisvorstellung der Konsortialpartner	11
Abbildung 3 - Statistiken der Webseite vom 09.03.2022 - 31.12.2024	15
Abbildung 4 - DID:WEB URL im Service Credential	18
Abbildung 5 - Uniresolver, welche das DID:WEB Dokument auflöst.....	19
Abbildung 6 - Offizielles durch resolver übersetztes X.509 Zertifikat.....	20
Abbildung 7 - Gaia-X Registry proof des TSP	21
Abbildung 8 - Gaia-X Compliance: Diese VP ist offizieller Gaia-X Participant	22
Abbildung 9 - ORCE Demonstrator Workflow.....	23
Abbildung 10 - ORCE API Tool Box Workflow	24
Abbildung 11 - ORCE Selbstbeschreibung bzw. Participant Abschnitt im Workflow	24
Abbildung 12 - Speicherung eines Beispiel Credentials im Federated Catalogue	25
Abbildung 13 - Erfolgreiche Löschung einer VP	25
Abbildung 14 - Import der Autowerkstatt 4.0 Hub Selbstbeschreibung (VP) aus PONTUS-X	26
Abbildung 15 - Sematischer Fehler bei der Speicherung der importierten VP.....	26
Abbildung 16 - GAIA-X Compliance Workflow	27
Abbildung 17 - AW4.0 Portal innerhalb von Pontus-X	29
Abbildung 18 - Big Picture der Integration der KI in den Hub	31
Abbildung 19 - Frontend der Diagnose im Werkstatt-Hub.....	32
Abbildung 20 - Datenaufnahme im Rahmen der Messwoche	33
Abbildung 32 - 7-Kanal USB2.0 Hubs.....	44
Abbildung 33 - V1.0 der Oszilloskop-Software	46
Abbildung 34 - Oszilloskop-Software Version 2.0.....	47
Abbildung 35 - Oszilloskop-Software Version 3.0.....	48
Abbildung 36 - Big Picture der übergreifenden Struktur	50
Abbildung 38 - Architektur Skizze des Hub Prototypen	52
Abbildung 39 - UI des Werkstatt-Hubs.....	55
Abbildung 40 - Datenschema	57
Abbildung 41 - Katalog im AW4.0 Portal.....	61
Abbildung 42 - Darstellung des Hubs in Pontus-X	62
Abbildung 43 - Datenaustausch zwischen Hub und einer KI-Firma.....	63
Abbildung 45 - Eingebettete Diagnose-State-Machine (Low-Level).....	65
Abbildung 47 - Visualisierung einer Change Point Detection	66
Abbildung 48 - Durch DBA-Varianten erzeugte synthetische Batteriesignale.....	67
Abbildung 49 - Extraktion von Patches - links: positives Signal rechts: negatives Signal.....	67
Abbildung 50 - OBD-Ontologie	68
Abbildung 51 - Web-Interface zur Aufnahme des Expertenwissens	69

Abbildung 52 - DTC-Parser	69
Abbildung 53 - Für den Demonstrator-Anwendungsfall relevantes Expertenwissen	70
Abbildung 54 – Initialer kausaler Graph	71
Abbildung 55 - Kausaler Graph mit hervorgehobenem Fehlerpfad	72
Abbildung 56 - Vergleich verschiedener Methoden zur Generierung von Salienzkarten	73
Abbildung 57 - Klassifizierung des Signals	74
Abbildung 58 - Variable Attribution Maps der vier Kanäle der Lambdasonde.....	74
Abbildung 59 - Time Attribution Maps der vier Kanäle der Lambdasonde.....	74
Abbildung 60 - Kombiniertes Ansatz von Datenqualitätsbewertung und Modell-Robustheitstest.....	76
Abbildung 61 - Datenqualitätscharakteristiken für Analytik und maschinelles Lernen (ML).	77
Abbildung 62 - Auszug der Aufschlüsselung der Datenqualitätscharakteristiken.....	77
Abbildung 63 - Darstellung Modell-Robustheit-Test	78
Abbildung 64 - Auswirkung der Datenvorverarbeitung auf die Modell-Robustheit	79
Abbildung 65 - Workflow des Tools	80
Abbildung 66 - Ausschnitt aus der Lernplattform	82
Abbildung 67 - Exemplarisches Erklärvideo auf der Plattform	82
Abbildung 68 - Standortkarte der belieferten Werkstätten im kleinen Rollout	83
Abbildung 69 - Mess-Kit für den zweiten Rollout	84

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1- Übersicht Marketing und Öffentlichkeitsarbeit.....	14
Tabelle 2 - Attribute für einen Fall	57
Tabelle 3 - Attribute Zeitreihenmessung	59
Tabelle 4 - Attribute OBD-Daten	59
Tabelle 5 - Attribute Symptome	59

Planung und Ablauf des Vorhabens

Projektpartner und Laufzeit

Liste der Partner (alphabetische Reihenfolge): Auto - Intern GmbH [AI], DEKRA Digital GmbH, [DEKRA], Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz [DFKI], ECO - Verband der Internetwirtschaft [ECO], Hochschule Osnabrück [HSOS], LMIS AG [LMIS], Technische Hochschule Georg Agricola der DMT-Gesellschaft für Lehre und Bildung mbH [THGA], Vergölst GmbH [VERGÖLST].

Laufzeit: Das Projekt lief wie geplant vom 01.01.2022-31.12.2024.

Ablauf des Vorhabens

Der Arbeitsplan des Projekts Autowerkstatt 4.0 ist inhaltlich in die Arbeitspakete AP1 – AP6 gegliedert. Ursprünglich wurde in dem Projekt eine zentrale Plattform geplant. Im Rahmen der Projektlaufzeit hat sich das Ziel in Arbeitspaket 4, eine AW4.0 Plattform aufbauend auf der Infrastruktur zu entwickeln dahingehend geändert, dass keine zentrale Plattform mehr entwickelt wird, sondern ein föderiertes, dezentrales System nach Gaia-X Standard. Im Projektverlauf hat das Konsortium identifiziert, dass potenziell teilnehmende Akteure ihre Trainingsdaten und KI-Algorithmen (Assets) auf ihrer eigenen Infrastruktur speichern bzw. entwickeln wollen. Aus diesem Grund wurde das konzipierte Hub-Konzept im Konsortium weiter ausgearbeitet und umgesetzt. Dennoch bleiben gewisse Teilaspekte bzw. Komponenten des Gesamtsystems bei einem zentralen Paradigma: Der Wissensgraph sowie ein allgemeiner Modellserver (AP5) setzen primär auf ein zentrales Hosting, um ihr volles Potenzial auszuschöpfen. So werden etwa Daten, die während der Diagnose mit dem entwickelten System anfallen (z.B. Oszillogramme), weiterhin in den Wissensgraphen zurückgeführt, um die Diagnosefähigkeiten des Systems zu verbessern.

Arbeitspaket 1 – Management & Support

Dieses Arbeitspaket umfasste die Gesamtsteuerung des Projekts, die Kommunikation mit dem Projektträger und die Organisation der internen Vernetzung und Zusammenarbeit unter der Leitung des Konsortialführers. Darüber hinaus wurde die Außendarstellung gesteuert, sowie der Aufbau und die Planung der Communities für Werkstätten und KI-Anbieter vorangetrieben. Dies beinhaltete die Pflege einer Projektwebseite, die Veröffentlichung von Publikationen, die Teilnahme an Messen und Fachkongressen sowie die Durchführung von Veranstaltungen zur Präsentation und Diskussion der (Zwischen-)Ergebnisse.

Arbeitspaket 2 – Infrastruktur für Daten & KI

Die Anbindung der GAIA-X-Infrastruktur und die Sicherstellung der Gaia-X Konformität in diesem Projekt ist Teil dieses Arbeitspaketes gewesen und bildet die Grundlage für eine skalierbare und vertrauenswürdige AW4.0-Infrastruktur. Darüber hinaus wurden offene Schnittstellen zu weiteren Systemen, Plattformen und Lösungen geschaffen, um die Integration von Interessenten zu ermöglichen.

Arbeitspaket 3 – Device Management & Messhardware

Dieses Arbeitspaket umfasste die Weiterentwicklung der im Projekt entwickelten Hardware, sowie die Integration von Messsystemen mit relevanter Hardware. Dadurch wurde dem Diagnosesystem eine ganzheitliche und detaillierte Analyse ermöglicht. Durch die Implementierung des Hub Konzeptes im Projekt AW4.0 kann die Diagnose über den Hub direkt eingebunden werden.

Arbeitspaket 4 – Plattformentwicklung

Die Konzipierung und Entwicklung des Autowerkstatt 4.0 Hubs mit einem intuitiven Frontend für die Endnutzenden zur Anwendung der KI-gestützte Diagnose ist im Rahmen dieses Arbeitspaketes umgesetzt worden. Durch die Hub Infrastruktur ermöglicht das Konsortium die souveräne Teilnahme von Werkstätten im Ökosystem und einen Datenaustausch zwischen den Akteuren, da der Hub die Werkstätten ans Ökosystem anbindet und die Diagnose mit unterschiedlichen Endgeräten ermöglicht.

Arbeitspaket 5 – KI-Entwicklung

Dieses Arbeitspaket umfasste wiederum die Teilarbeitspakete *Datenanalyse & Fehlergruppenauswahl*, *Erstellung der Wissensrepräsentation*, *Root Cause Analyse*, *KI-Basiskomponenten* und *KI-Fehlerdiagnose*, die unter Berücksichtigung einiger inhaltlicher Anpassungen gegenüber der Initialvorstellung allesamt erfolgreich umgesetzt und in das Gesamtsystem integriert wurden.

Der Prozess der KI-gestützten Fahrzeugdiagnose erfordert die Integration diverser Module, die im Berichtszeitraum erarbeitet wurden. Zentrale Bestandteile sind etwa die Wissensrepräsentation, beispielsweise zur Messstellen- bzw. Komponentenempfehlung sowie die Klassifizierung dort erfasster Oszilloskop-Signale. Zur Definition des prototypischen Gesamtprozesses des Diagnosesystems sowie zur Integration sämtlicher entwickelter Module wurde eine *State Machine* implementiert. Diese regelt unter anderem die Datenverarbeitung zur Erfassung des Fehlerkontextes, z.B. auf der Grundlage von Kundenbeanstandungen, Metadaten, Informationen zur Fahrzeughistorie und On-Board-Diagnoseprotokollen. Darüber hinaus führt sie Nutzende im Sinne eines *Human-in-the-Loop*-Systems durch den gesamten Diagnosevorgang. Da das System in enger Absprache mit Kfz-Diagnoseexperten entwickelt wurde, besteht das Potenzial, die Effizienz und Präzision des Diagnoseprozesses für moderne Fahrzeuge drastisch zu verbessern und so dazu beizutragen, den Fachkräftemangel zu kompensieren und rares Expertenwissen durch entstehende Wissensgraphen zu konservieren. Der Ansatz ist auf weitere Domänen wie die Anomaliedetektion in Industrieanlagen oder die medizinische Diagnose übertragbar. Das allgemeine Zusammenspiel der verschiedenen Module sowie die verwendeten Methoden sind domänenunspezifisch. Das entwickelte Framework bietet somit einen Ansatz zur Lösung des allgemeinen Problems, einen diagnostischen Prozess zu steuern, der sich sowohl auf Domänenexpertise als auch auf die Interpretation von Sensorsignalen stützt. Ein erläuternder Bericht, der erstellte Salienzkarten kontextualisiert, ermöglicht es Experten, leicht zu beurteilen, ob hervorgehobene Bereiche eine plausible Grundlage für die Entscheidungsfindung darstellen. Die Erklärungsmethoden verringern nicht nur die Fehleranfälligkeit, indem sie den Nutzenden die Möglichkeit geben, das Ergebnis zu überprüfen, sondern können auch das Vertrauen in die Modelle verbessern. Darüber hinaus ist die Zertifizierung in diesem Arbeitspaket verortet.

Arbeitspaket 6 – Schulungen & Rollout

Um die Werkstattmitarbeitenden optimal einzuarbeiten, wurden Schulungsunterlagen in Form von Arbeitsanweisungen, Lehrvideos und Schulungskonzepten im Rahmen dieses Arbeitspaketes bereitgestellt. Zudem wurde eine Lernplattform eingerichtet, um die erstellten Materialien zeitgemäß zu vermitteln und den Nutzenden zugänglich zu machen. Darüber hinaus erfolgten mehrere Events zur Datenaufnahme und die Rollouts zur Erprobung der Messsysteme in der Praxis.



Abbildung 1 - Darstellung des im Projekt fokussierten Use Cases

Geplante Meilensteine

Meilenstein	Monat	Beschreibung
M1 Konzeptionsphase	6	Die initiale Konzeption hinsichtlich Technologieauswahl, Integrationspfaden und Schulungen ist ausgearbeitet.
M2 KI-Basis	12	Infrastruktur, Device Management & Plattform stehen in einer ersten Version für die KI-Entwicklung und das Rollout bereit.
M3 Kleiner Rollout	18	Die Hardware ist so weit stabil, dass Schulungsmaterialien entworfen und bei Testwerkstätten ausgerollt werden können
M4 Infrastruktur	24	Die Infrastruktur- und die Hardwarearbeitspakete wurden erfolgreich abgeschlossen.
M5 Großer Rollout	30	Alle Arbeitsergebnisse sind bereit, dass die Lösung ausgerollt werden kann.
M6 Abschluss	36	Abschluss aller Entwicklungsarbeiten, Abschluss der Evaluation, Projektabschluss

Aufgabenstellung

Das Forschungsprojekt "Autowerkstatt 4.0" (AW 4.0) zielte darauf ab, die Digitalisierung in kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) der Automobilbranche zu fördern. Ein Konsortium aus Unternehmen und Forschungsinstituten entwickelte einen deutschlandweiten Hub für den sicheren Austausch von branchenspezifischen Fahrzeugdaten und KI-Modellen. Dieser Hub ermöglicht es Werkstätten, intelligente Fehlerdiagnosesysteme zu nutzen, die durch den Einsatz von KFZ-Oszilloskopen und KI-gestützten Verfahren präzisere und effizientere Diagnosen ermöglichen. Die Aufgabenstellung des Projekts umfasste die Entwicklung einer vertrauenswürdigen Datenplattform, die Werkstätten, Messsystemanbieter und KI-Startups zu einem Innovations- und Wertschöpfungsnetzwerk verknüpft. Ziel ist es gewesen, die Reparatur und Wartung von Fahrzeugen durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz zu verbessern und zu präzisieren, um unnötige Reparaturen zu vermeiden und Ressourcen im Sinne einer nachhaltigen Wartung zu schonen. Zudem wurde die Integration in das europäische Datenökosystem Gaia-X angestrebt, um einen fairen Wettbewerb mit neuen digitalen Geschäftsmodellen zu ermöglichen.

Die KI-Strategie der Bundesregierung zielt darauf ab, der deutschen Wirtschaft, insbesondere mittelständischen Unternehmen, den Zugang zu innovativen KI-Lösungen zu erleichtern, um Technologieführerschaft auszubauen. GAIA-X soll eine branchenübergreifende Daten- und Dienstinfrastruktur schaffen, die auch für das Vorhaben Autowerkstatt 4.0 (AW4.0) eine Grundlage bildet, indem ein vertrauenswürdiger Datenaustausch ermöglicht wird. AW4.0 entwickelte im Ergebnis einen Hub für Autowerkstätten, welcher durch KI-gestützte Fehlerdiagnosen herstellerunabhängige Reparaturen erleichtern kann und weniger erfahrenen Technikern die Interpretation von Messergebnissen ermöglicht. Das Vorhaben hat die digitale Souveränität Europas unterstützt und die Domänen Industrie 4.0 und die Mobilitätsbranche maßgeblich vorangetrieben. Der Beitrag von AW4.0 lag hier sowohl in der Weiterentwicklung des aus dem EFRE-geförderten Vorprojekt hervorgegangenen Messsystems als auch in der grundlegenden Entwicklung der KI zur Fehlerdiagnose.

Wissenschaftlicher und technischer Ausgangszustand

Eine relevante technologische Grundlage für das Projekt AW4.0 umfassen die Gaia-X Federated Services, die Plattformentwicklung und das Diagnosesystem, wobei Plattformentwicklung und **Federated Services** zwar eng verbunden sind, aber von unterschiedlichen Ausgangspunkten starten. Das OSS-Stack für die Federated Services sollte planmäßig bis zum Projektstart fertiggestellt und als Open Source-Lösungen integrierbar sein. Förderpolitischer Wunsch war eine Kompatibilität der entwickelten Lösungen mit GAIA-X, auf der sich nach der Änderung der Nebenbestimmungen auf die "Architecture Document Version 23.10 Version" fokussiert und im Projekt Autowerkstatt 4.0 umgesetzt wurde.

Während Fahrzeughersteller primär auf **On-Board-Diagnose (OBD)-Systeme** setzen, um über standardisierte Schnittstellen auf den Fehlerspeicher von Fahrzeugen zuzugreifen, verfolgt AW4.0 einen innovativen messtechnischen Ansatz zur Fahrzeugdiagnose. Statt sich auf herstellerseitig bereitgestellte Diagnosedaten zu stützen, nutzt AW4.0 hochauflösende Messungen physikalischer Größen, um elektrische Signale direkt zu erfassen und mittels erklärbarer Künstlicher Intelligenz (XAI) auszuwerten. Dieses Verfahren ermöglicht eine

tiefgehende Analyse von Systemzuständen und Fehlerbildern, ohne auf herstellerabhängige Datenprotokolle angewiesen zu sein. Durch die Kombination eines innovativen Messsystems mit KI-gestützten Diagnosealgorithmen wird eine transparente und nachvollziehbare Mensch-Maschine-Interaktion geschaffen. Das System kann Diagnoseergebnisse erklärbar aufbereiten, während die KI durch Reparatur- und Diagnosedaten kontinuierlich zur Erweiterung ihres Funktionsumfangs beiträgt. Diese herstellerunabhängige Diagnostik stärkt den fairen Wettbewerb zwischen freien und Vertragswerkstätten und leistet einen entscheidenden Beitrag zur langfristigen Sicherstellung einer zuverlässigen und nachhaltigen Wartung von Fahrzeugen.

Bezug Vorprojekt Autowerkstatt 4.0 (EFRE-0801229): Ein Teil des Autowerkstatt 4.0 Konsortiums ist bereits an der Entwicklung des an dem gleichnamigen vom EFRE-geförderten Vorprojekt hervorgegangenen Messsystems beteiligt gewesen. Hier konnten bereits erste Konzepte als Basis für die initiale Datenaufnahme entwickelt werden, so dass Autowerkstatt 4.0 auf diesen Konzepten aufsetzen konnte.

Die **Fehlerdiagnose in einem komplexen System mittels KI-Methoden** berührt eine Reihe verschiedener Themenfelder im Bereich der KI, darüber hinaus aber auch Bereiche der Ingenieurwissenschaften wie Signalverarbeitung und Steuerungstechnik. Dies spielt sich auf verschiedenen Betrachtungsebenen ab, vom Schluss auf mögliche fehlerhafte Komponenten- und Systemzustände aus Messdaten (Induktion) bis zur Herleitung möglicher Fehlerquellen aus Beobachtungen oder Daten etwa des On-Board-Diagnosesystems eines Fahrzeugs (Abduktion).

In den vergangenen Jahren wurden zunehmend komplexe Künstliche Neuronale Netze (*Artificial Neural Networks*, ANNs), insbesondere Tiefe Neuronale Netze (*Deep Neural Networks*, DNNs) zur Analyse verschiedenster Datensätze verwendet. Es gibt jedoch Szenarien, in denen Neuronale Netze an ihre Grenzen stoßen, etwa im Falle der Problematik, dass ANNs auf in Daten ungenügend repräsentierte seltene Ereignisse schlecht trainiert werden können. Hier und für andere Bereiche, die mit vorhandenem Expertenwissen gut verstanden sind, kommen nach wie vor klassische KI-Methoden wie beispielsweise Expertensysteme zum Tragen, insbesondere wenn das vorhandene Wissen strukturiert, etwa in einer Graph-Repräsentation, erfasst werden kann. Bei modernen KI-Lösungen, insbesondere so diese auf DNNs zurückgreifen, kommt der Wunsch nach der Erklärbarkeit auf. So soll für die Anwendenden nachvollziehbar dargestellt werden, auf welcher Basis die KI ihre Entscheidungen trifft. Unter dem Begriff „*Explainable Artificial Intelligence*“ (XAI) sind eine Vielzahl an Arbeiten hierzu entstanden, die KI-Methoden hinsichtlich ihrer Erklärbarkeit bewerten oder diese verbessern.

Im Fokus dieser Betrachtungen sind Methoden des maschinellen Lernens, da gerade bei diesen der Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung nicht mehr leicht ersichtlich ist. Im Gegensatz zu klassischen regelbasiert und daher transparent arbeitenden KI-Systemen gehen hier viele Datenpunkte über viele Trainingsiterationen in ein Modell ein, sodass schwierig nachzuvollziehen ist, welche exakten Eingaben eine bestimmte Modellausgabe bedingen. Solche Zusammenhänge dennoch zu verstehen, birgt ein enormes Potenzial für die zielgerichtete Weiterentwicklung solcher Modelle und deren Verwendung in Kombination mit klassischen Verfahren.

Erreichte Ergebnisse

Im Folgenden sind die wesentlichen Ergebnisse strukturiert nach Arbeitspaketen aufgeführt.

Arbeitspaket 1.1 Projektmanagement & Controlling

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes erfolgte die Gesamtsteuerung des Projekts durch den Konsortialführer LMIS AG, sowie die interne Vernetzung und Kommunikation mit anderen Projekten. Gemeinsam im Konsortium wurden im Laufe der drei Projektjahre mithilfe der im Projekt etablierten Projektstrukturen (regelmäßige Austauschtermine, Aufsetzen von MS-Teams-Strukturen & E-Mail-Verteilern, Definition von Kommunikationswegen, Organigramm der Projektteilnehmenden) jeder der im Antrag definierten sechs Meilenstein organisiert und teilweise in Präsenz durchgeführt. Bei diesen Meilensteintreffen haben alle Partner aktiv mitgewirkt und sich gegenseitig sowie dem Projektträger und der Begleitforschung ihren aktuellen Arbeitsstand aus den einzelnen Arbeitspaketen vorgestellt. Neben den Meilensteintreffen wurde ein Alignment zwischen den Partnern durch monatliche Projektleitenden-Runden & Projekttreffen gefördert. Darüber hinaus wurde im Rahmen eines regelmäßigen Risikomanagement die Projektrisiken gemeinschaftlich identifiziert, bewertete, priorisiert und an Maßnahmen gearbeitet. Hier hat jeder Konsortialpartner die eigenen Risiken aus den Arbeitspaketen mitgebracht und bei der Umsetzung der identifizierten und beschlossenen Maßnahmen mitgewirkt.

Neben der offiziellen Abschlussveranstaltung „Gaia-X Expo“ wurde zum Ende des Projekts im AI Village in Hürth ein projektierendes Abschlussevent mit Keynotes, Panels und einer Projektmesse organisiert, in welchem neben den im Projekt beteiligten Partnern, dem Projektträger und dem BMWK auch Interessenten aus dem Automotive Aftermarket und Teilnehmende des projektinternen Rollouts beteiligt waren.



Abbildung 2 – Ergebnisvorstellung der Konsortialpartner

Arbeitspaket 1.2 Projektübergreifende Kommunikation

Im Rahmen der Außendarstellung haben die Konsortialpartner aus dem Projekt Autowerkstatt 4.0 wie in Arbeitspaket 1.4 noch detaillierter dargestellt an vielen Veranstaltungen und Messen teilgenommen, wie der Milestone Gaia-X Förderwettbewerb in München oder die GXFS Connect und haben die Vision des Projektes Autowerkstatt 4.0 sowie die aktuellen Ergebnisse aus dem Projekt vorgestellt. Durch einen über die drei Projektjahre durchlaufenden Regeltermin mit der Begleitforschung Acatech mit der LMIS AG wurden Vernetzungsmöglichkeiten mit anderen Projekten aus dem Gaia-X Umfeld sichergestellt. Durch die Teilnahme an den regelmäßig angebotenen GXFS Tech Workshops wurde eine Vernetzung mit den anderen Projekten ebenfalls sichergestellt. Die durch den eco-Verband der Internetwirtschaft e.V. organisierten monatlichen Marketingtreffen in der ersten Projekthälfte hat die Vernetzung und Einbindung relevanter Zielgruppen sowie Stakeholder zusätzlich verstärkt. Im dritten Projektjahr lag der Fokus der Vernetzung in der Teilnahme der durch die Begleitforschung angebotenen Building Blocks, besonders mit der Thematik Identity & Trust Management, Partizipation Management sowie dem Business Development Building Block.

Arbeitspaket 1.3 Stakeholder Management

Der eco-Verband der Internetwirtschaft e.V. hat in Zusammenarbeit mit der LMIS AG und Hahn Network Stakeholder und Zielgruppen für das Projekt "Autowerkstatt 4.0" identifiziert und strategisch eingebunden. Über verschiedene Kanäle wie Messen (z. B. das 31. Werkstatt- & IAM-Branchenforum), Events (Interaction Day, Treffen der Networker NRW) sowie die Website und Social Media wurden Kontakte zu potenziellen Partnern hergestellt. Dies führte zur Gewinnung neuer Partner und zur Vertiefung bestehender Kooperationen.

Ein Onboarding-Konzept wurde entwickelt und umgesetzt, um neue Partner in das Projekt zu integrieren. Interessierte Unternehmen konnten durch einen Letter of Intent (LOI) oder Assoziierungsvertrag teilnehmen. Neue Partner wurden auf der Projekt-Website präsentiert, in Newslettern vorgestellt und in projektinterne Listen aufgenommen. Insgesamt konnten 29 assoziierte Partner für das Projekt gewonnen werden.

Die Zusammenarbeit mit assoziierten Partnern wie Motoservice International und Carpass wurde durch intensivere Einbindung in Projektthemen vertieft. Eine enge Kooperation zwischen dem DFKI und Motorservice International trug insbesondere zur Entwicklung des Wissensgraphen in Arbeitspaket 5 bei. Um das Netzwerk des Projekts auf technischer Ebene zu erweitern und Stakeholder aus der Industrie zu integrieren, hat die Vergölst GmbH weiterhin ihre langjährigen Beziehungen zu Geschäftspartnern und Lieferanten für Werkzeugtechnik wie Bosch, Continental und Hella Gutmann genutzt, um auch deren Perspektiven in das Projekt einzubeziehen.

Gewonnene assoziierte Partner (<https://www.autowerkstatt40.org/assoziierte-partner/>):

- ADAC Service GmbH
- Autohaus Bütje GmbH
- Autohauskenner GmbH
- BBE Automotive GmbH
- Bernd Behrens Automotive Consulting
- BSSA (Interessenverband der Bosch-Service-Betriebe e.V.)

- Carpass (CAR Information Services GmbH)
- CDMM GmbH
- ControlExpert GmbH
- Driver Reifen und KFZ Technik GmbH (PIRELLI Group)
- Dr. Schnell & Dr. Hensel GmbH (IT TECTURE)
- Goodyear Retail Systems GmbH
- Hahn Network
- Innung des Kfz-Techniker-handwerks Niedersachsen-Mitte
- Ionos SE
- Kaitos GmbH
- Kfz-Innung Schwaben
- MainWerkstatt
- Microsoft
- Mister A.T.Z. GmbH & Verlag Kaufhold GmbH
- MMMint.ai
- MS Motorservice International GmbH
- PneuHage Management GmbH & Co. KG
- point S Deutschland GmbH
- Rheinmetall AG
- Susi & James GmbH
- Vierol AG
- Verimi GmbH
- WESP B.V.

Im Rahmen des Projekts Autowerkstatt 4.0 setzte die Technische Hochschule Georg Agricola (THGA) innovative Maßnahmen zur Öffentlichkeitsarbeit um, um die Inhalte des Projekts anschaulich zu vermitteln und die Interaktion mit der Zielgruppe zu fördern. Ein herausragendes Beispiel dafür ist die Entwicklung eines **Escape Towers**, eines mobilen und interaktiven Rätsel- und Lernsystems, das auf Veranstaltungen und Messen eingesetzt wird. Der Escape Tower wurde konzipiert, um spielerisch Wissen über die KI-gestützte Fehlerdiagnose in der Kfz-Werkstatt zu vermitteln. Das zentrale Element des Towers ist das **OmnAIScope**, ein Messgerät, das innerhalb des Projekts zur Analyse elektrischer Signale in Fahrzeugen entwickelt wurde (siehe Arbeitspaket 3). In vier thematisch gestalteten Seiten durchlaufen die Teilnehmenden verschiedene Stationen, die sie mit den Konzepten und der praktischen Anwendung der Technologie vertraut machen:

1. **Informations- und Quizseite:** Einführung in das Projekt Autowerkstatt 4.0, unterstützt durch interaktive Fragen und Videosequenzen.
2. **Suche nach dem OmnAIScope:** Durch das Öffnen von Fächern oder das Erkunden von Gucklöchern entdecken die Teilnehmenden das Messgerät.
3. **Anschließen und Vorbereitung:** Die richtige Verkabelung des OmnAIScope an ein Fahrzeug oder eine Simulation wird trainiert.
4. **Messung und Fehleranalyse:** Auf Basis realer Sensordaten müssen die Spielenden Messergebnisse interpretieren und eine Fehlerdiagnose stellen.

Durch haptische, visuelle und digitale Interaktionselemente verbindet der Escape Tower theoretisches Wissen mit praktischer Erfahrung. Das modulare und tragbare Design ermöglicht

den Einsatz bei Indoor- und Outdoor-Veranstaltungen. Zusätzlich kann der Tower betreut oder unbetreut genutzt werden und sowohl online als auch offline funktionieren, was eine flexible Einbindung in verschiedene Eventformate erlaubt.

Der Escape Tower demonstriert anschaulich, wie moderne Technologien wie KI-gestützte Fehlerdiagnose und digitale Messsysteme in Werkstätten Anwendung finden. Gleichzeitig trägt er dazu bei, das Bewusstsein für datengetriebene Diagnoseverfahren im Kfz-Bereich zu schärfen und das Interesse von Fachkräften und der Öffentlichkeit an neuen Technologien zu fördern.

Neben dem physischen Escape Tower hat die THGA ein zusätzliches Online Escape Game entwickelt, das die Wirkweise der Autowerkstatt 4.0 auf spielerische Weise vermittelt. Das digitale Spiel richtet sich insbesondere an neue potenzielle Kundinnen und Kunden und ermöglicht ihnen, in einer interaktiven Umgebung die KI-gestützte Fehlerdiagnose und digitale Prozesse einer modernen Kfz-Werkstatt zu erleben. Durch realitätsnahe Szenarien und knifflige Rätsel werden die Nutzenden mit den Herausforderungen und Lösungen der Autowerkstatt 4.0 vertraut gemacht. Dabei wird insbesondere verdeutlicht, wie moderne Technologien – von vernetzten Diagnosewerkzeugen bis hin zu automatisierten Entscheidungsprozessen – den Arbeitsalltag in der Werkstatt revolutionieren. Das Online Escape Game ergänzt den Escape Tower ideal, indem es eine niederschwellige, ortsunabhängige Möglichkeit bietet, sich mit den Inhalten des Projekts auseinanderzusetzen. Derzeitig ist das Spiel über die folgende Adresse abrufbar: <https://locked-games.de/gast/spiele/aw40/spielen>

Arbeitspaket 1.4 Marketing & Öffentlichkeitsarbeit

Veranstaltungsteilnahmen (Messen, Vorträge)	<ul style="list-style-type: none"> • 24 Messeteilnahmen & Vorträge
Projektbezogene Veröffentlichungen	<ul style="list-style-type: none"> • 9 Videos/4848 Aufrufe • 22 Interviews • 18 Nachberichte • 9 Newsletter-Meldungen • 3 Pressemitteilungen • 24 Blogartikel • 3 Podcast-Interviews • 13 Externe Berichte/ Presseclipping deutsch- und englischsprachiger Veröffentlichungen • 40 englische Blogbeiträge

Tabelle 1- Übersicht Marketing und Öffentlichkeitsarbeit

Um das Bewusstsein bei Stakeholdern und den Zielgruppen für das Förderprojekt zu stärken sowie sie fortlaufend über Fortschritte und Ergebnisse zu informieren, wurden verschiedene Kommunikationskanäle für das Projekt geschaffen.

Als zentrale Anlaufstelle wurde durch eco – Verband der Internetwirtschaft e.V. die Webseite [autowerkstatt40.org](https://www.autowerkstatt40.org/) (<https://www.autowerkstatt40.org/>) eingerichtet. Die Website hatte ihren Go Live am 09.03.2022 und wurde am 21.11.2022 einem Relaunch unterzogen. Über die Projektlaufzeit verzeichnete die Webseite über 6600 Nutzende und 80.000 Aufrufe. Um auf der Webseite konstant neue Beiträge zu veröffentlichen wurde ein Redaktionsplan erarbeitet. Dieser gab Themen rund um Projektergebnisse und -fortschritte, um Werkstatt-, IT- und KI-Branchen, um Partner sowie interne und externe Fachbeiträge vor. Insgesamt wurden 22 Interviews, 18 Nachberichte zu Veranstaltungen, 3 Pressemitteilungen und 24 Blogartikel publiziert. Damit sich

auch internationale Nutzende über das Projekt informieren können, wird die Webseite auch auf Englisch angeboten (<https://www.autowerkstatt40.org/en/>) und 40 ausgewählte Blogbeiträge wurden zusätzlich auf Englisch veröffentlicht. Die Webseite wurde 2023 in Zusammenarbeit mit den Konsortialpartnern um einen FAQ-Bereich erweitert, um oft gestellte Fragen öffentlich zugänglich zu beantworten (www.autowerkstatt40.org/faq).

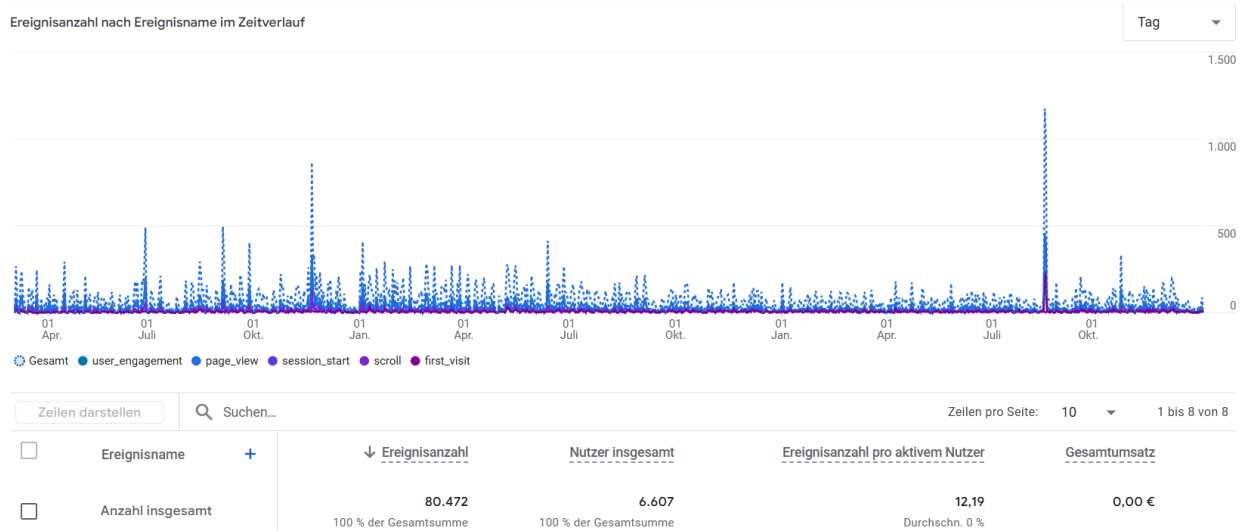


Abbildung 3 - Statistiken der Webseite vom 09.03.2022 - 31.12.2024

Über die Webseite konnte auch der Newsletter abonniert werden, welcher in unregelmäßigen Abständen über die aktuellen Themen und Fortschritt des Projekts informierte. Diesen Service nutzten zum Projektende 75 Abonnenten und es wurden 9 Newsletter versendet.

Parallel zur Webseite wurde eine dedizierte LinkedIn-Gruppe erstellt und diese anschließend in die heutige Social Media Unternehmensseite (569 LinkedIn Follower, Stand: 13.01.2025, <https://lnkd.in/erfcV3vv>) überführt. Neben LinkedIn wird mit Unterstützung der Technischen Hochschule Georg Agricola ein Instagram Kanal geführt (https://www.instagram.com/autowerkstatt_4.0/) und eine Facebook Seite (<https://www.facebook.com/p/Autowerkstatt-40-100083144360054/>) bespielt. Die Social-Media-Kanäle des Projekts werden vorrangig für die Ankündigungen von Veranstaltungen und neuer Blogbeiträge genutzt. Neben den eigenen Social-Media-Aktivitäten, haben auch die Konsortialpartner die Öffentlichkeitsarbeit mit Beiträgen unterstützt. So erreichte z.B. Juan I. Hahn von Hahn Network mit seinen 66 Beiträgen auf LinkedIn insgesamt 160.000 Views sowie 2900 Interaktionen und hat die Bekanntheit des Projektes weiter vorangetrieben.

Ergänzend wurde ein Youtube-Kanal (<https://www.youtube.com/@autowerkstatt4.019/about>) eröffnet. Die dort zum Abruf bereit gestellten 9 Videos verzeichnen über 4.800 Aufrufe (Stand: 16.01.2025) und der Kanal verfügt über derzeit 28 Abonnenten. Dort veröffentlichte Videobeiträge wurden vom eco-Verband erstellt.

Zu einer zielgruppen- und marktgerechten Kommunikation trugen der Besuch öffentlicher und fachlicher Veranstaltungen wie Messen oder Kongresse mit eigenen Ständen, Panels und Vorträgen bei. Während der Projektlaufzeit waren die Konsortialpartner auf insgesamt 24 Veranstaltungen präsent. Für die Hannover Messe 2024 wurde durch eine Arbeitsgruppe des Konsortiums ein Demonstrator inkl. einer Modellstadt entwickelt, der den Weg der Daten durch

das Autowerkstatt 4.0 Ökosystem verdeutlicht. Durch die Platzierungen von 13 Fachbeiträgen und Interviews in der Fachpresse wurde das Projekt zusätzlich in die Breite getragen. Dazu trug auch die Beteiligung an 3 Branchenpodcasts bei. Eine Übersicht aller öffentlichkeitswirksamer Aktivitäten befindet sich im Anhang.

Arbeitspaket 1.5 Community & Netzwerke

Im Rahmen von Arbeitspaket 1.5 wurden zu Projektbeginn Workshops mit allen Projektpartnern und Hahn Network durchgeführt. Ziel war die Identifikation von Überschneidungen in geplanten Verwertungen und die Schaffung von Synergien innerhalb des Konsortiums.

Um die Community rund um die Autowerkstatt 4.0 aufzubauen, wurde in dem ersten Projektjahr durch die LMIS eine Anforderungsanalyse für mögliche Community Tools innerhalb des Projektes durchgeführt. Als Ergebnis wurde die Kommentarfunktion innerhalb der Lernplattform Moodle (Arbeitspaket 6.1) als eine wichtige Möglichkeit identifiziert und erfolgreich implementiert, um die Community-Aktivitäten zu fördern.

Als besonders erfolgreich haben sich Workshops erwiesen. In insgesamt 7 durchgeführten AW4.0 Workshops konnte das Konsortium verschiedene Akteure des Automotive Aftermarket miteinander vernetzen, die Verbundenheit zum Projekt stärken und zu verschiedenen Themen projektrelevante Ergebnisse erarbeiten. Folgende Workshops wurden während der Projektlaufzeit organisiert:

- **18.04.2023:** Neue Entwicklungen und Anforderungen für die Kfz-Diagnostik, Köln
- **25.07.2023:** Von der Diagnose bis zur Reparatur: Wie Daten und KI-Autowerkstätten transformieren, Frankfurt
- **23.11.2023:** Die Werkstatt der Zukunft – Herausforderungen und Datenschutz im Fokus, Frankfurt
- **29.02.2024:** Autowerkstatt 4.0 Data Hub – Neue Potenziale für den Automotive Aftermarket, Frankfurt
- **07.05.2024:** Vom Oszilloskop bis zur KI – Innovative Technologie für die Fehlerdiagnose in der Autowerkstatt, Köln
- **27.06.2024:** Pitch n´ Collaborate: Breaking Data Silos – Schlüssel für digitale Innovationen im Automotive-Markt, Köln
- **16.10.2024:** KI im Automotive Aftermarket – Daten teilen, Innovation fördern (Workshop), Köln

Zusätzlich hat das Konsortium zwei Webinare zum Projekt und übergeordneten Themen ausgerichtet.

- **27.04.2023:** Warum die gemeinsame Nutzung und sichere Speicherung von Daten für die Mobilitätsbranche ein Muss sind?
- **05.10.2023:** Data Act – Turbo für die vernetzte Autowelt?

Um den kleinen Rollout der im Rahmen des Projektes entwickelten Hardware zu unterstützen, hat das Konsortium eine Informationsveranstaltung am 25.05.2023 beim assoziierten Partner VIEROL in Oldenburg ausgerichtet, der sich an Werkstattbesitzende aus der Region richtete. Diesen wurde präsentiert, wie Künstliche Intelligenz (KI) den Werkstatt-Alltag erleichtern kann und wie mit KI die Reparatur und Wartung verbessert werden kann.

Des Weiteren war der Austausch mit den anderen GAIA-X Förderprojekten, insbesondere auf technischer Ebene, um die Anschlussfähigkeit garantieren zu können, von großer Relevanz. Hierzu nahmen Entwickler des Konsortiums an mehreren GXFS Tech Workshops und der Digital-X 2023 Konferenz teil.

- 03/2023, Berlin = GXFS Tech Workshop #3 (Hackathon)
- 09/2023, Köln = DIGITAL X 2023 (Konferenz)
- 10/2023, Reutlingen = GXFS Tech Workshop #4 (Hackathon)
- 12/2023, Köln = GXFS Tech Workshop #5 (Workshop)
- 01/2024, Frankfurt = GXFS Tech Workshop #6 (Workshop)
- 06/2024, Hürth = GXFS Tech Workshop #7 (Workshop)

Arbeitspaket 2.1 Gaia-X Anbindung & Integration

Anbindung an Pontus-X und Gaia-X Identität (LMIS AG)

Durch die Änderungen der Nebenbestimmungen wurde sich für die Sicherstellung der Gaia-X Konformität seitens der LMIS AG für Pontus-X entschieden, da Pontus-X die Gaia-X Konformität nach 23.10 eindeutig gewährleisten kann.

Pontus-X

Pontus-X ist ein dezentrales digitales Ökosystem, welches darauf abzielt, sichere und innovative Datenfreigabe, KI-Dienste und Monetarisierung in ganz Europa im Rahmen von Gaia-X zu ermöglichen. Sie haben sich zum Ziel gesetzt, ein nachhaltiges und wettbewerbsfähiges, Gaia-X konformes Ökosystem für digitale Dienste zu fördern und Vertrauen und Transparenz in der digitalen Wirtschaft zu stärken. Das Pontus-X-Ökosystem ist ein wegweisendes, vollständig dezentralisiertes, paneuropäisches digitales Dienstleistungsökosystem innerhalb von Gaia-X. Es ermöglicht den souveränen Datenaustausch und die Monetarisierung digitaler Dienste, wobei es strikt den Regeln des Gaia-X Trust Frameworks folgt. Unternehmen und Institutionen können im Pontus-X-Ökosystem KI-, Software-, Daten- und Infrastrukturdienste konsumieren und anbieten, während sie die Kontrolle über ihr geistiges Eigentum und sensible Daten behalten, wodurch die Anforderungen der DSGVO und der IT-Sicherheit erfüllt werden. Neben den Portalen können alle Dienste auch programmatisch über Bibliotheken wie Nautilus verwaltet und genutzt werden. Innerhalb von Pontus-X können die Anwendenden föderierte Analysen, maschinelles Lernen (ML) und weitere Dienste nutzen, um wertvolle Informationen aus Datendiensten zu extrahieren oder den Zugang zu sensiblen Daten zu ermöglichen, ohne unnötige Risiken durch Dritte oder Compliance-Verstöße einzugehen. Eine der Kernfunktionen des Pontus-X-Ökosystems für Gaia-X ist ein Datenzugriffs- und Orchestrierungsmechanismus namens Compute-to-Data (CtD). CtD ermöglicht es Datenbesitzern, nur den Rechenzugriff auf ihre Daten zu gewähren, ohne Kopien in anderen, nicht kontrollierten Umgebungen zu erstellen. Die Daten können in einer sicheren Umgebung beim Eigentümer verbleiben, um das Risiko von Datenlecks zu minimieren. Die zugrunde liegenden Softwarekomponenten ermöglichen es Ihnen, Ihre Exposition gegenüber Drittanbieterdiensten im gesamten Cloud-to-Edge-Kontinuum granular zu steuern.

Pontus-X unterstützt über die Föderationsdienste hinaus die Abwicklung von Geschäftsfällen durch EU-reguliertes E-Geld EUROe und fördert nachhaltige Geschäftsabläufe für alle Teilnehmenden, die Infrastruktur und Dienste bereitstellen.

Das Pontus-X-Ökosystem für Gaia-X wurde 2021 von deltaDAO während des ersten Gaia-X-Hackathons eingeführt und seitdem kontinuierlich weiterentwickelt und ausgebaut. Heute bietet Pontus-X das vollständige Set an Föderationsdiensten, zusätzliche Ökosystemdienste von verschiedenen Anbietern und ist mit den Gaia-X Digital Clearing Houses (GXDCH), dem Gaia-X Compliance Service und dem Gaia-X Registry verbunden.

Das Pontus-X-Ökosystem ist darauf ausgelegt, alle Teilnehmenden zu befähigen, eine Föderation zu werden, ohne auf zentrale Komponenten angewiesen zu sein. Diese einzigartige Struktur stellt sicher, dass es keinen einzigen Ausfallpunkt oder Kontrollpunkt innerhalb seines Stacks gibt. Teilnehmende können die gemeinsame Infrastruktur nutzen und teilen, und jeder Teilnehmende oder Föderator kann die Teilnahme jederzeit beenden, ohne die Funktion des Ökosystems zu stören. Diese Flexibilität unterstützt eine Vielzahl von Geschäftsmodellen für alle Teilnehmenden und sichert die Nachhaltigkeit des Ökosystems. Die föderierten Ökosystemdienste von Pontus-X werden durch eine Vielzahl von Anwendungen und Open-Source-Software, insbesondere in Form von Smart Contracts, unterstützt. Pontus-X nutzt freie Open-Source-Software aus dem Ocean Protocol Software-Stack, um eine Vielzahl von Diensten zu unterstützen, darunter Datenaustausch, Katalog, Vertragsgestaltung und Orchestrierung von Software-, Infrastruktur- und Datendiensten.

Überprüfung der Identität und Gaia-X Konformität

Zunächst wird die digitale Identität durch die did:web Methode überprüft. Im Falle der LMIS AG lautet die did:web URL `did:web:aw40.github.io` und ist in der Service credential zu finden.

Service Credential ^

```
{
  "@context": "https://www.w3.org/2018/credentials/v1",
  "type": "VerifiablePresentation",
  "verifiableCredential": [
    {
      "@context": [
        "https://www.w3.org/2018/credentials/v1",
        "https://w3id.org/security/suites/jws-2020/v1",
        "https://registry.lab.gaia-x.eu/development/api/trusted-shape-registry/v1/shapes/jsonld/trustframework#"
      ],
      "type": "VerifiableCredential",
      "id": "https://aw40.github.io/.well-known/2210_gx_service_aw40hub.json",
      "issuer": "did:web:aw40.github.io",
      "issuanceDate": "2024-11-04T15:54:21.613Z",
      "credentialSubject": {
        "id": "did:op:becdef674cee604715e3f6d64c1f4165dc3d59c497cf5c6556c9d6124892e330",
        "type": "gx:ServiceOffering",
        "gx:providedBy": {
          "id": "https://aw40.github.io/.well-known/2210_gx_vp_LMIS.json"
        }
      }
    }
  ]
}
```

Abbildung 4 - DID:WEB URL im Service Credential

Die Konformität wird im Folgenden beispielhaft anhand der Identität der LMIS AG gezeigt: Das DID-Dokument kann über mehrere Anbieter aufgerufen werden, unter anderem durch das Online-Tool: <https://dev.uniresolver.io/>, um das zugehörige DID-Dokument zu prüfen.

Das Dokument enthält einen Verweis auf den Speicherort des von Gaia-X vorgeschriebenen X.509 Zertifikat, unter der Variable "x5u" in dem Beispiel: "https://aw40.github.io/.well-known/didev.pem". Diese Datei enthält die Zertifikatskette (der Einfachheit halber meist Zertifikat genannt), welche die Existenz der LMIS AG bestätigt und aufzeigt, dass die LMIS AG den hinterlegten Schlüssel ebenfalls kontrolliert.

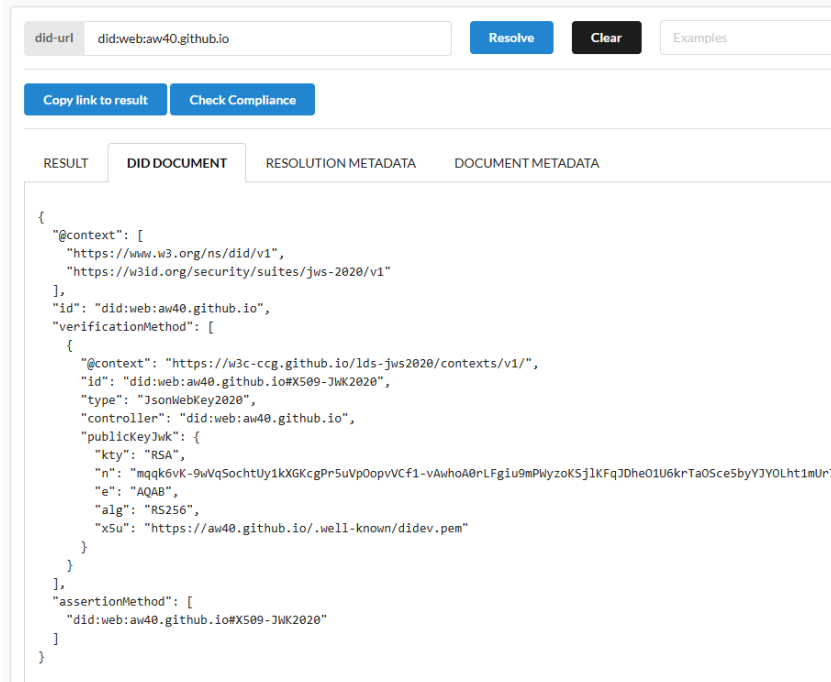


Abbildung 5 - Uniresolver, welche das DID:WEB Dokument auflöst

Validierung des Zertifikats

Das Zertifikat kann unter anderem mit dem Tool <https://tools.keycdn.com/ssl> validiert werden. Die Validierung zeigt die Zertifikatskette:

1. Subject CN: lmis.de > Issuer CN: Sectigo RSA Extended Validation Secure Server CA
2. Subject CN: Sectigo RSA Extended Validation Secure Server CA > Issuer CN: USERTrust RSA Certification Authority
3. Subject CN: USERTrust RSA Certification Authority > Issuer CN: USERTrust RSA Certification Authority

Certificate Checker

CERTIFICATE DECODER

Certificate (PEM format)

```

A I U G E W E B y W Q F M A M B A I 8 W D Q T Y J K 0 Z I N V C N A Q E M B Q A D g g j 1 8 A F Z U I A 3 F 9 W F 9 Q Z I I D H F F
Up/L+M+ZBn8b2kMvN54CVVeWFPFSPCeHICjtHzoBN6J2/FNQwISbxmtOuowhT6KO
VWKR82kV2LyI48SqC/3vqOILVSoGIG1VeCkZ7l8wXEskEVX/JJpuXior7gtNn3/3
ATIUFJVDBwn7YKnuHKsSjKCaXqeYalltiz8l+8jRRa8YFWSQEG9zKC7F4iRO/Fjs
8PRF/iKz6y+O0tLFYQXBl2+odnKPi4w2r78NBc5xjeambx9spnFixdjQg3IM8WcR
iQycE0xyNN+81XHfqHd4blsjDwSXWxavVcStkNr/+XeTWYRUc+ZruwXtuhxkYze
Sf7dNXGiFSeUHM9h4ya7b6NnJSFd5t0dCy5oGzuCr+yDZ4XUmFF0sbmZgln/f3gZ
XHIKYC6SQK5MNYosycdiyA5d9zZbyuAIJQG03RoHnHcAP9Dc1ew91Pq7P8yF1m9/
qS3fuQL39ZeatXaw2ewh0qpKJ4jv9cJ2vhsE/zB+4ALtRZh8tSQZXq9EFX7mRB
VXYNWQKV3WKdwruWih0hKWbt5DHDAff9Yk2dDLWKMgwsAvgnEzDHNb842m1R0aB
L6KcQ9NjRHDEjF8tM7qtj3u1cliuPhnPQCjY/MiQu12ZlvS5ljFH4gxQ+6IHdfG
jjxDah2nGN59PRbxYvnKkKj9
-----END CERTIFICATE-----

```

Check

No chain issues detected.

1. Subject CN: Imis.de > Issuer CN: Sectigo RSA Extended Validation Secure Server CA
2. Subject CN: Sectigo RSA Extended Validation Secure Server CA > Issuer CN: USERTrust RSA Certification Authority
3. Subject CN: USERTrust RSA Certification Authority > Issuer CN: USERTrust RSA Certification Authority

Abbildung 6 - Offizielles durch resolver übersetztes X.509 Zertifikat

Diese Kette bestätigt, dass das Zertifikat der LMIS von Sectigo geprüft und von USERTrust ausgestellt wurde.

Überprüfung der Gaia-X Konformität des Trust Service Providers

Um sicherzustellen, dass der TSP Sectigo von Gaia-X akzeptiert wird, kann die Gaia-X Registry eines beliebigen Clearing House aufgerufen werden (zum Beispiel unter https://www.delta-dao.com/registry/v1/docs#/TrustAnchor/TrustAnchorController_verifyTrustAnchorChain). Durch Eingabe des Speicherorts des Zertifikats, in diesem Fall `https://aw40.github.io/.well-known/didev.pem`, und der anschließenden Ausführung der Überprüfung wird das Ergebnis angezeigt. Ein Ergebnis von 200 = true (vgl. Abbildung 7) bestätigt, dass Gaia-X der Sectigo als Trust Anchor vertraut.

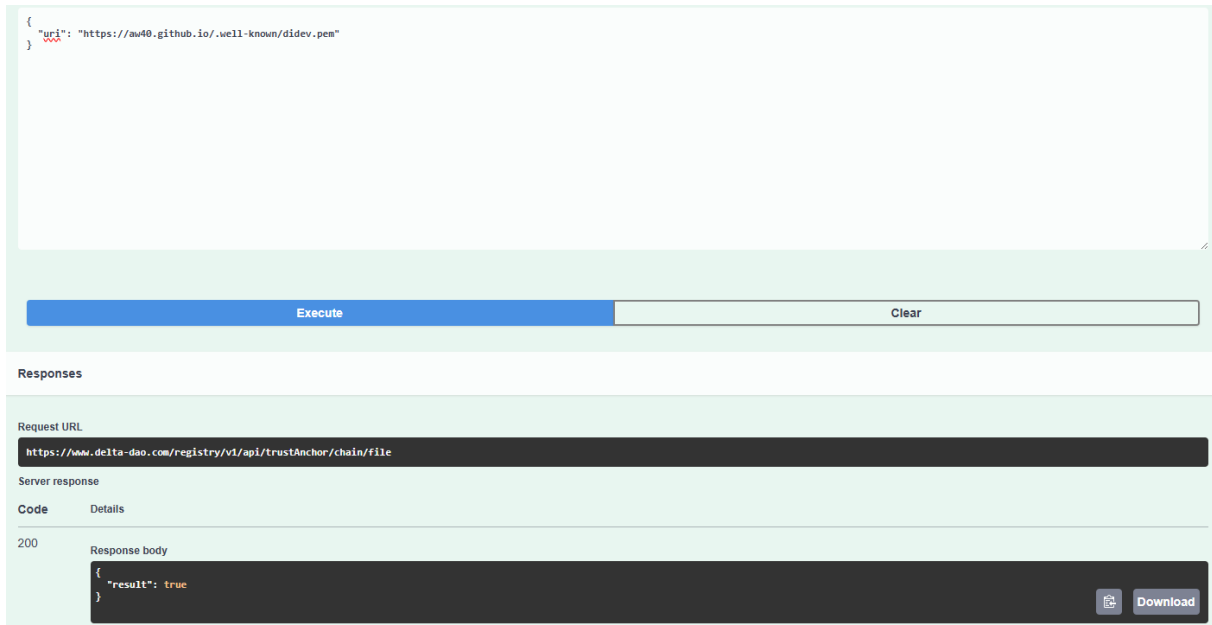


Abbildung 7 - Gaia-X Registry proof des TSP

Darstellung der Unternehmensinformationen

Für die Gaia-X konforme Beschreibung eines Participants werden die Credentials Participant, die Registration Number und die Terms and Conditions benötigt. Die Verifiable Presentation (VP) dieser Credentials für die LMIS AG ist unter https://aw40.github.io/.well-known/2210_gx_vp_LMIS.json zu finden. In der JSON-Datei sind im Klartext Informationen über das Unternehmen enthalten, wie die Steuernummer, der Unternehmenssitz, die Registration Number von Gaia-X und die unterschriebenen Terms and Conditions.

Überprüfung der Konformität

Zum Abschluss wird die Konformität der Identität und der VP mit Gaia-X überprüft. Dies erfolgt über die Gaia-X Digital Clearinghouses unter <https://docs.gaia-x.eu/framework/?tab=clearing-house>. Die gesamte VP kann hier in einem beliebigen Clearing House Compliance Service entgegen geprüft werden (z.B.: unter https://www.delta-dao.com/compliance/v1/docs#/credential-offer/CommonController_issueVC).

Dieser Abbildung 8 zeigt, wie eine digitale Identität überprüft und deren Konformität mit Gaia-X sichergestellt werden kann. Hier bedeutet der Code 201, dass die Anfrage erfolgreich gegen das Clearing House resolved werden konnte und die LMIS AG somit ein offizieller Gaia-X Participant ist.

Examples:

[Modified value] ▾

```

],
  "id": "https://aw40.github.io/.well-known/2210_gx_vp_LMIS.json",
  "issuer": "did:web:aw40.github.io",
  "issuanceDate": "2024-09-18T20:15:31.066Z",
  "credentialSubject": {
    "id": "https://aw40.github.io/.well-known/2210_gx_vp_LMIS.json",
    "type": "gx:LegalParticipant",
    "gx:name": "LMIS AG",
    "gx:legalName": "LMIS AG",
    "gx:legalRegistrationNumber": {
      "id": "https://aw40.github.io/.well-known/2210_gx_registrationnumber_LMIS.json"
    },
    "gx:headquarterAddress": {
      "gx:countrySubdivisionCode": "DE-NI",
      "gx:addressCountryCode": "DE",
      "gx:streetAddress": "Hamburger Str. 24",
      "gx:postalCode": "49084",
      "gx:locality": "Osnabrück"
    }
  },
  "gx:legalAddress": {

```

Execute

Responses

Request URL

https://www.delta-dao.com/compliance/v1/api/credential-offers?vcid=https%3A%2Fstorage.gaia-x.eu%2Fcred

Server response

Code	Details
201	Response body

Abbildung 8 - Gaia-X Compliance: Diese VP ist offizieller Gaia-X Participant

Durch die beschriebenen Schritte wird die für die Teilnahme an Gaia-X notwendige Integrität und Vertrauenswürdigkeit der Identität gewährleistet. Auch die DEKRA Digital hat im Rahmen des Forschungsprojektes ein Gaia-X Onboarding durchlaufen und wird auch im Jahr 2025 diese Konformität behalten. Da dieser Datenraum für zukünftige Services der DEKRA von Interesse ist, wird die Entwicklung von Gaia-X weiterhin verfolgt.

Anbindung Gaia-X Federation Services an PONTUS-X

Um die Anschlussfähigkeit und die Interoperabilität mit weiteren GAIA-X-Projekten zu demonstrieren, wurde die Firma LEANEA von eco-Verband beauftragt, eine Anbindung des Pontus-X Katalog an ausgewählte GAIA-X Federation Services umzusetzen.

Die Gaia-X Federation Services (GXFS) bieten eine Reihe von OSS-Software-Komponenten, die bei der Operationalisierung eines Gaia-X-konformen föderierten Ökosystems aus Infrastruktur und Daten unterstützen. GXFS ist in dem Sinn eine Werkzeugkiste, die das Gaia-X-Framework erweitert und eine Referenzimplementierung für einige Komponenten bereitstellt, die notwendig sind, um die Aufnahme eines Teilnehmers in das Gaia-X-Ökosystem und die Schaffung einer Gaia-X-kompatiblen Föderation zu unterstützen. Der entsprechende Code der GXFS wurde nach Abschluss der Aktivitäten in die Obhut der Eclipse Foundation übergeben und wird dort aus rechtlichen Gründen unter dem Namen Cross Federation Services (XFSC) weitergepflegt. Für die

Demonstration der Anbindung an Pontus-X wurden die Services Federated Catalogue und Orchestration Engine verwendet.

Der Katalog speichert Selbstbeschreibungen sowohl einzeln als auch aggregiert in einer Graphen-Datenstruktur. Der sogenannte Selbstbeschreibungsspeicher Self enthält die veröffentlichten Rohdaten der Selbstbeschreibungen im selben Format JSON-LD wie Pontus-X (JavaScript Object Notation for Linked Data), zusammen mit zusätzlichen Lebenszyklus-Metadaten.

Die XFSC Orchestration Engine (ORCE) ist ein Fork des beliebten node-red-Projekts mit zusätzlichen Funktionen zur Verbesserung der Anwendungsvernetzung. Das Projekt übernimmt die Kernfunktionen der Low-Code Plattform node-red und erweitert sie, um die Erstellung komplexer vernetzter Anwendungen und Dienste zu erleichtern. XFSC ORCE wurde für die Implementierung und Konfiguration von Onboarding- und Akkreditierungs-Workflows für das Gaia-X-Ökosystem entwickelt.

Das Ziel dieses Demonstrators war es zu zeigen, wie bestehende Verifiable Presentations (Selbstbeschreibung oder Participant) als JSON-LD Files aus Pontus-X abgerufen und in den XFSC Federated Catalogue importiert und gespeichert werden können.

Zur Überprüfung der Interoperabilität mit dem Pontus-X Katalog wurde zunächst eine eigene Testumgebung mit den beiden genannten Services und notwendigen weiteren Komponenten wie z.B. Keycloak aufgesetzt und unter der einheitlichen URL `aw40.gxf.s.dev` verfügbar gemacht. Im Anschluss wurden in der ORCE zwei Haupt-Workflows angelegt.

In dem Demonstrator Workflow wurden die für das Testen der allgemeinen Funktionsfähigkeit notwendigen Workflows angelegt und der für die konkrete Anbindung an Pontus-X zuständige Workflow modelliert.

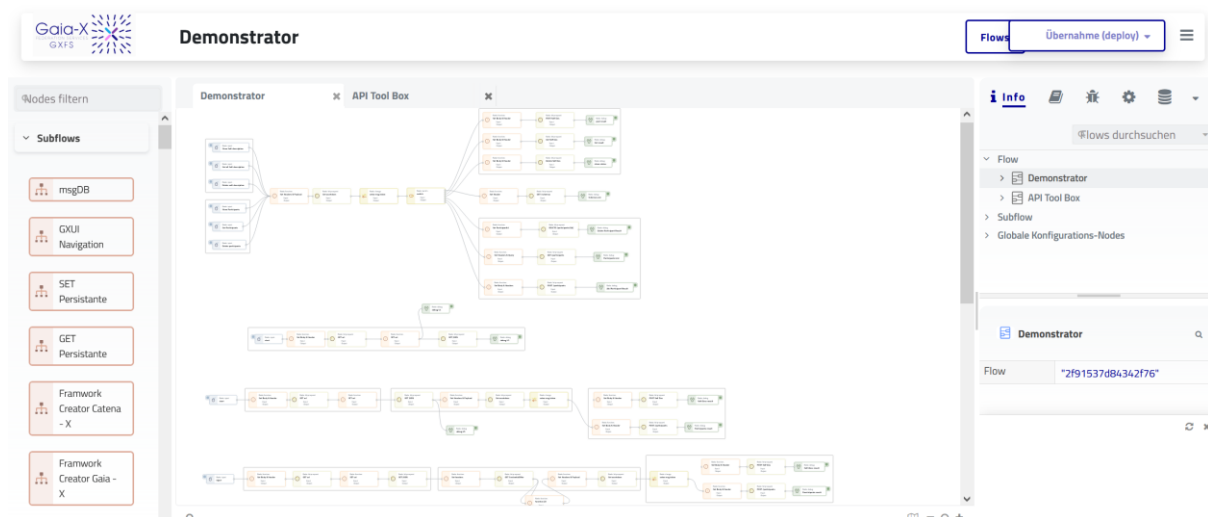


Abbildung 9 - ORCE Demonstrator Workflow

Unter dem zweiten Workflow API Tool Box wurden die relevanten APIs und Endpoints des Federated Catalogues sowie des Pontus-X Katalogs implementiert und konfiguriert.

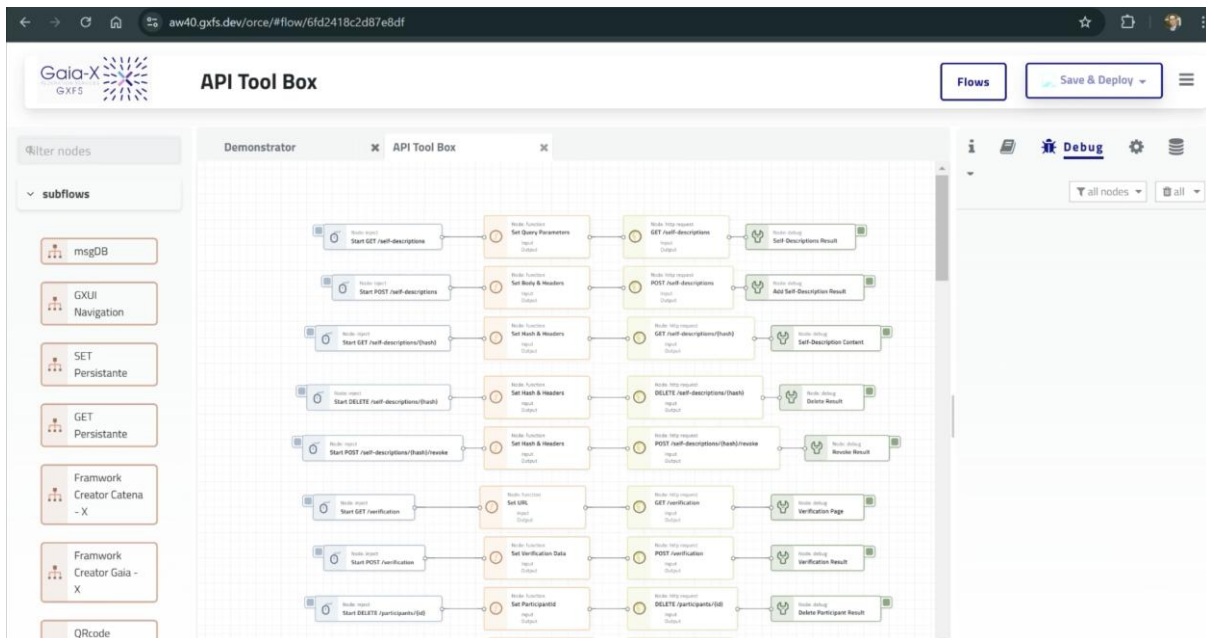


Abbildung 10 - ORCE API Tool Box Workflow

Zunächst wurde die allgemeine Funktionsfähigkeit des Systems getestet und das Speichern sowie Löschen von Selbstbeschreibungen und Participant VPs im Federated Catalogue erfolgreich verprobt. Dazu wurden jeweils zunächst Test JSON-Files gespeichert bzw. gelöscht. Für jede der beiden Verifiable Presentations (Selbstbeschreibung und Participant) gibt es einen eigenen Abschnitt im Workflow.

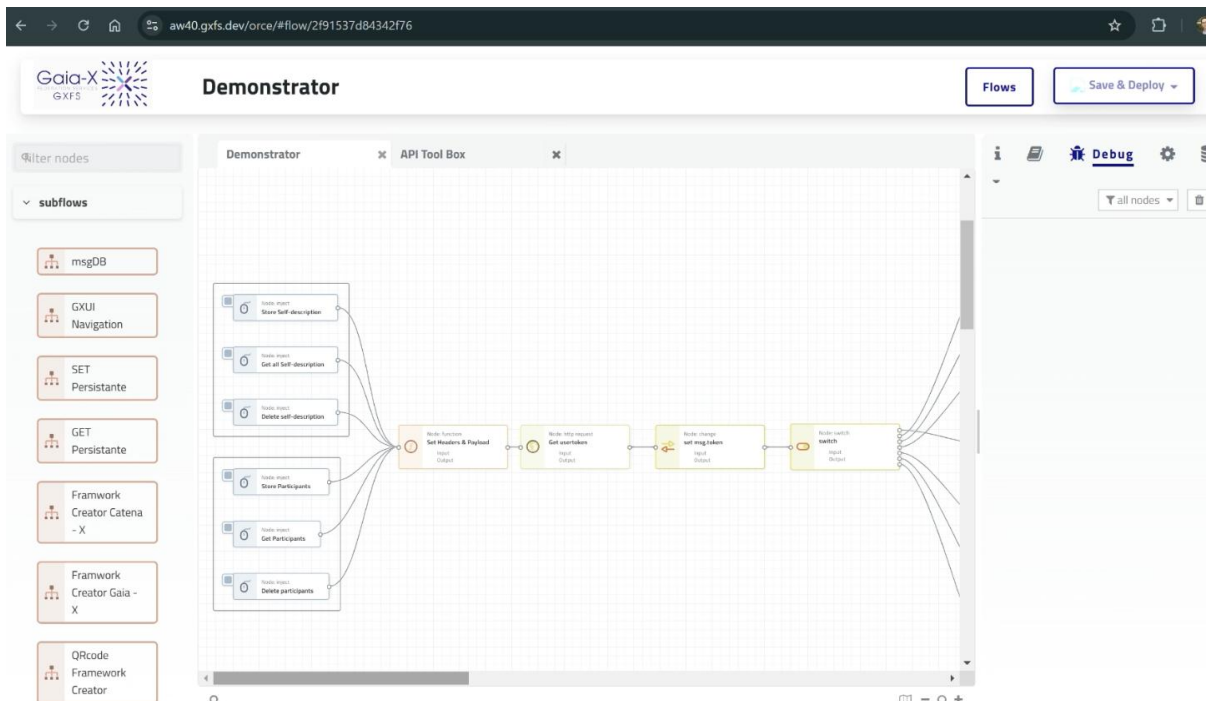


Abbildung 11 - ORCE Selbstbeschreibung bzw. Participant Abschnitt im Workflow

Exemplarisch zeigt die folgende Abbildung den erfolgreichen Import und Speicherung einer Selbstbeschreibung. Der Status Code 201 auf der rechten Seite zeigt die erfolgreiche Speicherung der Beispiel VP im XFSC Federated Catalogue.

Hierzu wird zunächst über den definierten Endpunkt des Pontus-X Katalogs die richtige URL für die Bereitstellung der jeweiligen Credentials abgefragt. Wie man unter `urlnew` erkennen kann, wird über den Endpunkt die korrekte Speicheradresse der vorab bei Pontus-X hinterlegten JSON-Datei der Selbstbeschreibung ausgespielt und die richtige Verifiable Presentation (VP) wurde in den Federated Catalogue importiert.

(https://aw40.github.io/well-known/2210_gx_service_aw40hub.json)

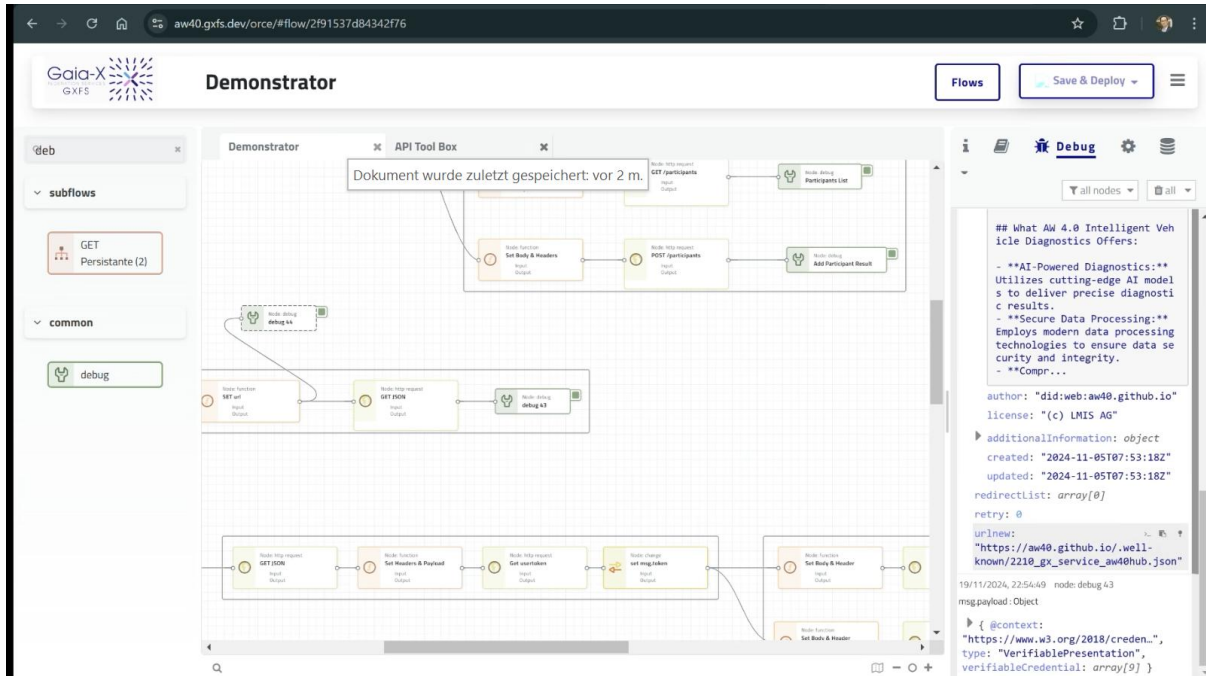


Abbildung 14 - Import der Autowerkstatt 4.0 Hub Selbstbeschreibung (VP) aus PONTUS-X

Bei dem Ausführen des Workflows zur Speicherung der VP trat jedoch ein Problem auf. In der vom Pontus-X bereitgestellten VP sind unterschiedliche Typen von Verifiable Credentials enthalten. Der Federated Catalogue erwartet an dieser Stelle jedoch nur einen Typ und es wird ein semantischer Fehler angezeigt.

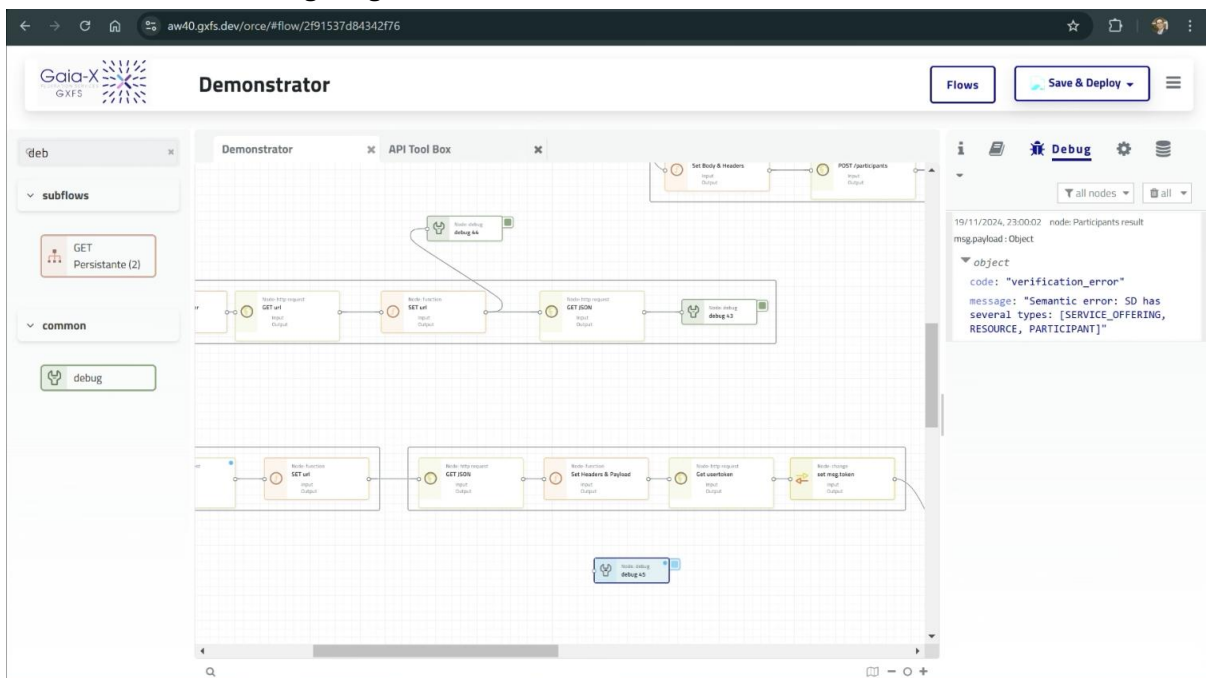


Abbildung 15 - Semantischer Fehler bei der Speicherung der importierten VP

Eine Lösung wäre die einzelnen VC mit einem bestimmten Typ aus dem VP zu extrahieren und in eine neue VP zu überführen. Dann würde allerdings die Validierung der initialen VP fehlschlagen. Eine mögliche Lösung wäre eine erneute Validierung der einzelnen JSON-Dateien über den GAIA-X Compliance Service. Der hierfür notwendige Workflow wurde ebenfalls angelegt.

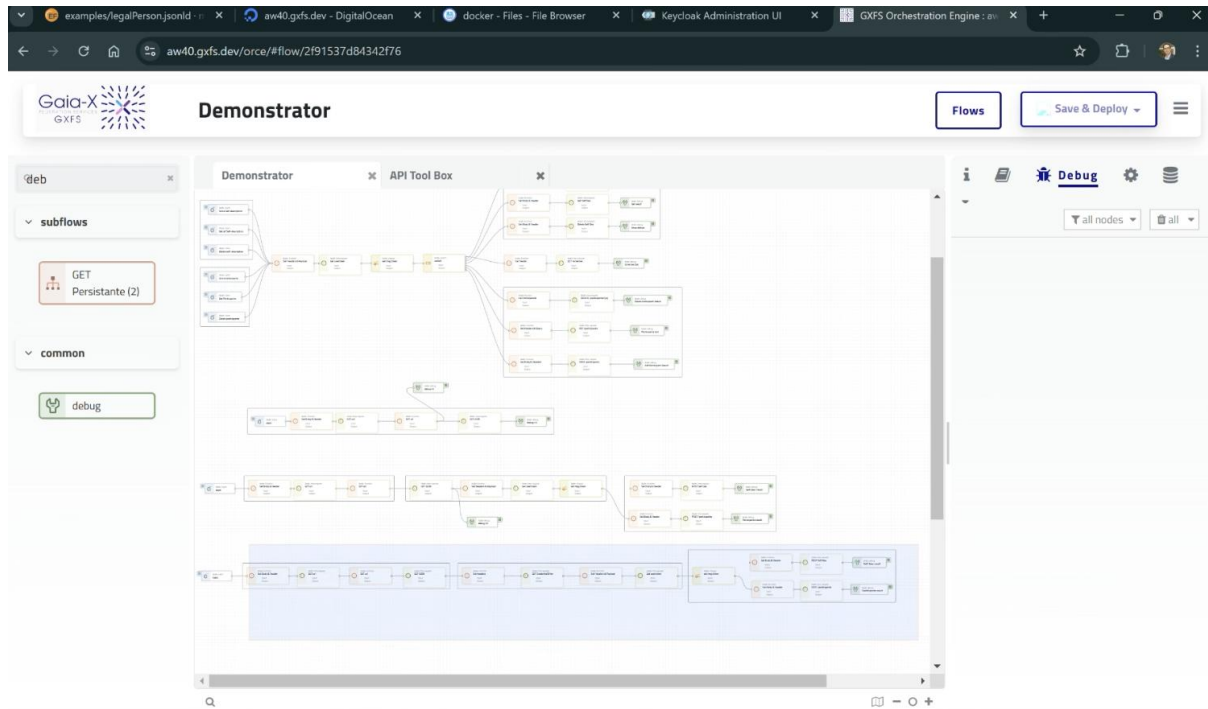


Abbildung 16 - GAIA-X Compliance Workflow

Aufgrund des Projektendes konnte dieser Lösungsweg jedoch nicht mehr finalisiert werden. Da es sich hierbei jedoch um ein semantisches und kein grundlegendes technisches Problem handelt, sollte die Interoperabilität zwischen dem Pontus-X Katalog und dem XFSC Federated Catalogue mit vertretbarem Aufwand hergestellt werden können.

Arbeitspaket 2.2 Containerinfrastruktur

Kernkomponenten von Pontus-X

Durch die Entscheidung für Pontus-X wurde die Containerinfrastruktur in Zusammenarbeit von der Hochschule Osnabrück, der Technischen Hochschule Georg Agricola und der LMIS AG auf Pontus-X umgestellt.

Access Controller (Provider)

Der Access Controller (alternativ Provider im Kontext des Ocean Protocol) ist eine REST-API, die für die Bereitstellung von Diensten entwickelt wurde. Er führt eine Reihe von Prüfungen durch, um die Berechtigung des Käufers zum Zugriff auf den Dienst zu verifizieren. Der Access Controller fungiert als Vermittler zwischen der Datenquelle und dem Benutzenden, wodurch ein direkter Zugriff des Benutzenden auf die Daten vermieden wird. Zudem verschlüsselt er die Metadaten der Dienstangebote, was private Dienstkataloge ermöglicht.

Funktionalitäten:

Zugriffskontrolle: Der Access Controller führt eine Reihe von Prüfungen durch, um die Berechtigung des Käufers zum Zugriff auf den Dienst zu verifizieren:

- Überprüfung des Lebenszyklusstatus des Assets, um dessen Verfügbarkeit zu bestätigen.
- Überprüfung, ob der Käufer das Zugriffstoken (auch "Datatoken" im Ocean Protocol genannt) erworben und verwendet hat, um Zugang zu den Daten zu erhalten.
- Überprüfung der Zugriffskontrollbedingungen des Dienstes anhand der Erlaubnis-/Verweigerungslisten des Dienstes.

Integritätsprüfungen von Algorithmen: Bei der Nutzung der Compute-to-Data-Funktionalität führt der Access Controller Integritätsprüfungen durch, indem er Hashes des Algorithmus und des Docker-Containers vor der Berechnung verwendet. Dieser Prozess soll die Ausführung potenziell bösartiger, nicht geprüfter Algorithmen verhindern.

Verschlüsselung/Entschlüsselung von Katalogmetadaten: Der Herausgeber verwendet den API-Verschlüsselungsendpunkt eines vertrauenswürdigen Access Controllers, um seine Dienstmetadaten vor der Veröffentlichung zu verschlüsseln (Verankerung des Dienstangebots auf der Blockchain). Jede vertrauenswürdige Metadaten-Cache-Komponente (Aquarius) kann den Entschlüsselungsendpunkt des Access Controllers aufrufen, um die von der Blockchain abgerufenen Metadaten zu entschlüsseln. Dies stellt sicher, dass nur ausgewählte Aquarius-Instanzen Zugriff auf die Metadaten des Dienstangebots haben.

Verschlüsselung/Entschlüsselung des Dateipunkts: Das Dateifeld in den Metadaten wird unabhängig vom Rest verschlüsselt. Es enthält die Endpunktdetails zum Zugriff auf die Daten oder die Algorithmusdateien. Es wird einen Schritt vor der Verschlüsselung des gesamten Metadatenobjekts (auch bekannt als DDO im Ocean Protocol) verschlüsselt und vom Access Controller bei der Nutzung des Dienstes entschlüsselt. Dies bedeutet, dass Endpunktdetails niemals unverschlüsselt den vertrauenswürdigen Bereich des Access Controllers verlassen. Compute Services Der Access Controller: stellt Hardwaredetails (CPU, RAM, GPU), Preis- und Verfügbarkeitsinformationen der verbundenen Compute-Umgebungen bereit.

Metadata Cache (Aquarius)

Aquarius ist ein Dienst, der das Management und das Caching von Metadaten aus verschiedenen Blockchain-Netzwerken vereinfacht. Er arbeitet off-chain mit einer Elasticsearch-Datenbank und erleichtert das Abfragen von on-chain generierten Metadaten, indem er einen aktuellen Überblick über die Metadatenaktivitäten über mehrere Chains hinweg aufrechterhält.

Caching von Service-Katalogeinträgen: Aquarius überwacht kontinuierlich die Blockchain auf MetadataCreated- und MetadataUpdated-Smart-Contract-Ereignisse. Es verarbeitet neue oder aktualisierte Metadaten von Katalogeinträgen und aktualisiert seine Off-Chain-Datenbank, um sicherzustellen, dass sie stets die neuesten Informationen enthält. Da die Metadaten verschlüsselt sind, ruft der Anbieter den Access Controller auf, um die Metadaten zu entschlüsseln. Metadaten-Abfrage-API: Die Aquarius-API bietet eine einfache Möglichkeit, Metadaten aus dem Service-Katalog mithilfe von Elasticsearch-Abfragen abzurufen. Dies erspart den Nutzenden die direkte Interaktion mit der Blockchain und ermöglicht effiziente Katalogabfragen, beispielsweise bei der Nutzung der Portale.

Portale

Die Portale in Pontus-X ermöglichen es den Nutzenden, den Katalog zu durchsuchen und gezielt nach bestimmten Dienstangeboten zu suchen. Darüber hinaus bieten die Portale einfache Funktionen zum Veröffentlichen, Bestellen und Konsumieren von Diensten. Das Projekt Autowerkstatt 4.0 hat einen eigenen Katalog, um im Pontus-X Ökosystem zu partizipieren.

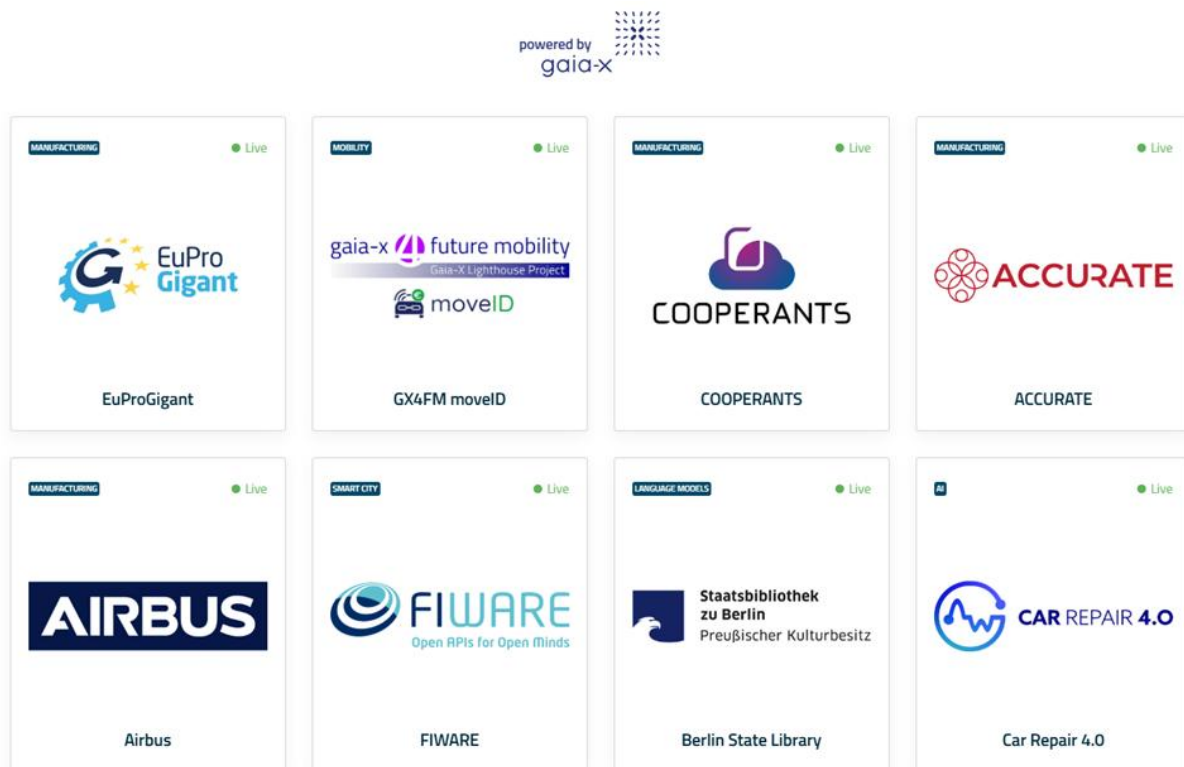


Abbildung 17 - AW4.0 Portal innerhalb von Pontus-X

Subgraph

Der Subgraph ist für die Extraktion von Preisinformationen und Kaufhistorien aus der Blockchain verantwortlich. Er verarbeitet diese Daten und speichert sie in einem Format, das eine einfache Abfrage über GraphQL ermöglicht. Der Subgraph ruft Daten zu Zugriffstokens und Transaktionen direkt von der Blockchain ab. Allerdings ist er nicht in der Lage, die mit den Dienstangeboten verbundenen Metadaten zu entschlüsseln oder bereitzustellen. Diese Funktionalität wird von zwei verschiedenen Komponenten bereitgestellt: dem Metadaten-Cache, bekannt als "Aquarius", der für die Bereitstellung der Metadaten zuständig ist, und dem Access Controller, auch "Provider" genannt, der die Entschlüsselung der Metadaten übernimmt.

Bei Abfragen des Subgraphs ist es wichtig, dass Parameter wie Token-Adressen in Kleinbuchstaben geschrieben werden. Dies ist entscheidend für die korrekte Verarbeitung der Abfragen.

Compute Environments

Compute Environments basieren auf Docker und Kubernetes. Es können mehrere Compute Environments mit unterschiedlichen Eigenschaften parallel betrieben werden.

Arbeitspaket 2.3 Vertrauenswürdige KI-Umgebung

Eine frühe Evaluation hat ergeben, dass eine zentrale Plattform entgegen allen Ansätzen von Gaia-X läuft. Aus diesem Grund wird eine KI nicht auf einer zentralen Plattform verwendet, sondern dezentral jeder Akteur auf seiner eigenen Infrastruktur. Das Onboarding von Firmen und somit einer generell vertrauenswürdigen Umgebung für Daten und Modellaustausch wird über den Gaia-X konformen Datenraum geregelt.

Onboarding mit dem Gaia-X Wizard

Der Gaia-X Wizard ist eine Webanwendung, welche die Erstellung und Signierung von Verifiable Presentations (VPs) sowie den Erhalt von Verifiable Credentials (VCs) ermöglicht und so die Gaia-X-Konformität bestätigen. Diese Anwendung hat das Ziel den Nutzenden zu demonstrieren, wie VPs und VCs innerhalb von Gaia-X genutzt werden.

Die Onboarding-Seite des Gaia-X Wizards unterstützt die Erstellung der drei obligatorischen Verifiable Credentials, die für die Gaia-X-Konformität erforderlich sind. Diese Credentials umfassen:

1. Legal Participant: Dieses Credential bestätigt die rechtliche Identität des teilnehmenden Unternehmens oder der Institution.
2. Legal Registration Number: Dieses Credential enthält die rechtliche Registrierungsnummer des Teilnehmenden, die in offiziellen Registern eingetragen ist.
3. Terms & Conditions: Dieses Credential bestätigt, dass der Teilnehmende die allgemeinen Geschäftsbedingungen akzeptiert hat.

Während des Onboarding-Prozesses kann angegeben werden, ob eine eigene Decentralized Identifier (DID)-Lösung verwendet wird. Nach der Eingabe und Bestätigung der Daten durch ein Clearing House werden die Verifiable Credentials erstellt. Diese Credentials werden dann signiert und in der lokalen Wallet des Teilnehmenden gespeichert.

Arbeitspaket 2.4 Basiscontainer für KI-Entwicklung

Das dezentrale Hub System ist darauf ausgerichtet, die im Datenraum angebotenen KI-Modelle zu verwenden, nicht aber im Hub direkt zu entwickeln. Daher beschreibt dieses Unterarbeitspaket, wie die KI-gestützte Diagnose seitens der Technischen Hochschule Georg Agricola und der Hochschule Osnabrück in den Hub integriert wurde.

Integration der KI in den Hub

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie die Funktionalität zur KI unterstützten Fehlerdiagnose umgesetzt ist. Kernstück der KI unterstützten Fehlerdiagnose die vom DFKI entwickelte und in Arbeitspaket 5 detaillierter dargestellte State Machine.

Die State Machine nutzt

- Am Fahrzeug generierte Messdaten, insbesondere OBD-Daten und Oszillogramme
- Einen Wissensgraph zur Beurteilung der OBD-Daten
- ML-Modelle zur Bewertung von Oszillogrammen

Die State Machine ist ein Agent, der viele komplexe Schritte der Fehlerdiagnose weitgehend autonom durchführt. Insbesondere die Anwendung von Wissensgraph und ML-Modellen wird eigenständig gehandhabt. Der Nutzende hat lediglich die benötigten Eingabedaten zur Verfügung zu stellen. Diese werden zum Teil erst während der Fehlerdiagnose ermittelt. Beispielsweise entscheidet die State Machine erst nach Auswertung der Fehlercodes, für welche Bauteile Oszillogramme zu erstellen sind. Entsprechende Anweisungen müssen dann an den Nutzenden übermittelt werden. Die Diagnose kann fortgesetzt werden, sobald der Nutzende die Daten zur Verfügung gestellt hat. Aus Nutzendensicht werden die folgenden Anforderungen an das KI gestützte Diagnosesystem festgelegt:

- Diagnose Management: Starten, Abbrechen etc.
- Informationen über Zustand und Ergebnisse der Diagnose einsehen
- Benachrichtigt werden, wenn eine eigene Handlung erforderlich ist (z.B. Daten hochladen)
- Es müssen mehrere „offene“ Diagnosen gleichzeitig vorliegen können, e.g. wenn eine Diagnose auf ein bestimmtes Oszillogramm „wartet“, dann sollte es möglich sein, weiter an anderen Fällen zu arbeiten
- Die Diagnose sollte automatisch weitergehen, sobald benötigte Nutzerhandlungen (z.B. Daten hochladen) ausgeführt wurden

Auch die State Machine als "Rechenkern" des Diagnosesystems stellt eine Reihe von Anforderungen an das System, in das sie eingebettet sind. Diese sind:

- Zugriff auf Messdaten / Informationen zum Fall (Fehlercodes und Oszillogramme)
- Nutzerkommunikation ((Zwischen-)Ergebnisse, benötigte Daten etc.)
- Laden von ML-Modellen für die Oszillogramme spezifischer Bauteile
- Zugriff auf (zentralen) Wissensgraph

Es ist auch vorgesehen, dass das Diagnosesystem nicht direkt auf die Datenbank des Hubs zugreift, sondern über eine dedizierte API. Dadurch wird sichergestellt, dass nur die benötigten Messdaten in das Diagnosesystem gelangen und keine anderen Geschäfts- oder Kundendaten.

State Machine Integration

Die untenstehende Abbildung skizziert die Integration der State Machine.

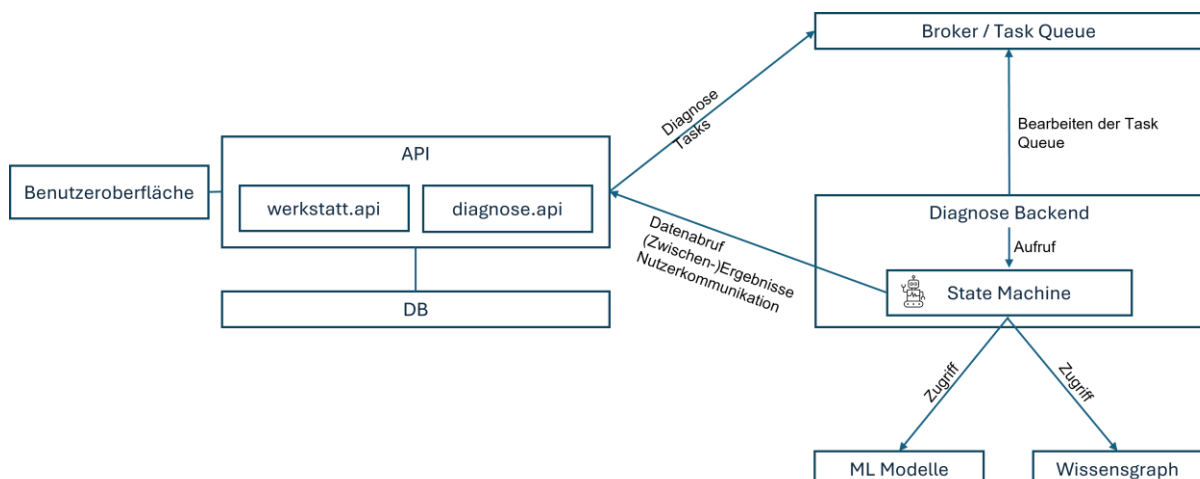


Abbildung 18 - Big Picture der Integration der KI in den Hub

Nutzende interagieren über eine Benutzeroberfläche mit dem System. Über diese können die durch die werkstatt.api definierten Datenmanagement Operationen durchgeführt werden. Dies sind u.A. *Anlegen* und *Bearbeiten von Fällen*, *Hochladen von Fahrzeugdaten* (Fehlercodes, Oszillogramme), das *Starten der Diagnose* für einen Fall und der *Abruf von Informationen zum aktuellen Diagnosezustand*.

Wird mittels der werkstatt.api die Aktionen *starten der Diagnose* durchgeführt, triggert dies die Erzeugung eines Diagnose Tasks, der vom API-Service in einer Task Queue abgelegt wird.

ID	Status	Fall	Datum
6740852de78477a3a8a105b3	✓	67405d08d0575e4e2515f5d6	22.11.2024
67446a94c78477a3a8a105bf	✓	674469e6e78477a3a8a105bc	25.11.2024
6746f68ea579a7ab5f2c11fb	✓	673f5d11d0575e4e2515f5b9	27.11.2024
67458f18a579a7ab5f2c11f6	✗	673c578a9c0f2a84b245755	26.11.2024

Abbildung 19 - Frontend der Diagnose im Werkstatt-Hub

Diese wird kontinuierlich vom Diagnose Backend Service bearbeitet. In diesen ist die State Machine als Softwarebibliothek eingebunden. Die State Machine interagiert mit dem Datenkern des Hubs über die diagnose.api. Diese ermöglicht den Abruf der relevanten Daten zum Fall, sowie das Senden von Zwischenergebnissen und Messaufträgen. Auf diese Informationen können Nutzende wiederum mittels der werkstatt.api zugreifen.

Durch diesen *asynchronen Dialog* zwischen Nutzenden und State Machine wird sichergestellt, dass sich auf einem AW4.0 Hub mehrere Diagnosen gleichzeitig "in Bearbeitung" befinden können, ohne dass dies die Interaktionsmöglichkeiten von Nutzenden mit dem Datenkern blockiert oder einschränkt.

Zur Umsetzung der Task Queue basierten Kommunikation zwischen API und Diagnose Backend verwendet der Hub Prototyp [Celery](#) mit [Redis](#) als Broker verwendet.

Skalierbarkeit

Der Prototyp beinhaltet derzeit jeden Service einmal. Im Szenario einer sehr großen Betreiberfirma mit vielen Werkstätten ist es denkbar, dass viele offene Diagnosen gleichzeitig vorliegen. Aufgrund der potenziell rechenintensiven Ausführung der State Machine ist nicht auszuschließen, dass es dabei zu längeren Wartezeiten kommt, falls die Task Queue nur von einem Diagnose Backend bearbeitet wird. Der im vorherigen Abschnitt vorgestellte Integrationsansatz kann horizontal skaliert werden, indem Replikate des Diagnose Backends die Task Queue parallel bearbeiten.

Arbeitspaket 2.5 Datenanbindung

Im letzten Jahr wurden durch die Technische Hochschule Georg Agricola (THGA) initiierte und ausgerichtete Messwochen durchgeführt. Diese fanden teils konsekutiv statt und hatten das übergeordnete Ziel, ein gemeinsames Gesamtverständnis innerhalb des Projekts zu etablieren. Ein zentraler Aspekt dieser Messwochen war die Förderung einer gemeinsamen Sprache zwischen den verschiedenen Fachdisziplinen. Es zeigte sich früh, dass die Beschreibung eines Fehlerfalls durch erfahrene Kfz-Werkstattmitarbeitende oft nicht präzise von KI-Entwickelnden, IT-Architektur-Ingenieurinnen und Softwareentwicklerinnen interpretiert werden konnte. Dies führte zu Missverständnissen, die eine effektive Zusammenarbeit erschwerten. Durch die strukturierte Durchführung der Messwochen konnte eine Übersetzungsebene geschaffen werden, die eine bessere Verständigung zwischen den Domänen ermöglichte. Die Messwochen fanden vor Ort in Bochum an den folgenden Terminen statt: KW 45/2023 und KW. 16/2024.

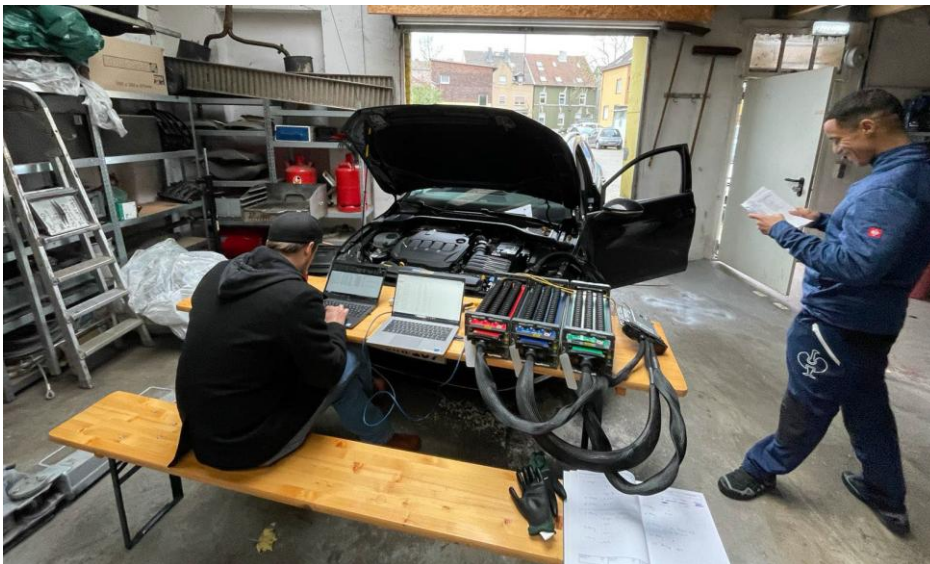


Abbildung 20 - Datenaufnahme im Rahmen der Messwoche

Zwischen diesen Terminen sowie im Nachgang wurden die erhobenen Ergebnisse weiter diskutiert und systematisch Thesen zur Überprüfung aufgestellt und bearbeitet. Zusätzlich zur methodischen Annäherung der Fachbereiche diente die Messreihe auch der systematischen Erhebung relevanter Fahrzeugdaten. So wurde im Rahmen der Messwochen insbesondere ein prototypischer Durchstich für die KI-gestützte Diagnose eines spezifischen Fehlerfalls realisiert. Mit Unterstützung des assoziierten Partners MSI wurden Daten eines Polo N6 zum Fehlercode P0172 aufgenommen und für die Entwicklung eines KI-Modells durch das DFKI berücksichtigt (siehe Arbeitspaket 5).

Arbeitspaket 3.1 Device Management & Edge Deployment

Ziel in diesem Arbeitspaket ist es gewesen, auf Plattformebene die Brücke zu schlagen zwischen den Diagnosesystemen als Endgeräte und der Plattformfunktionen, um den reibungslosen Austausch von Daten und KI-Modellen bis auf das Endgerät für die relevanten Akteure zu gewährleisten. Dabei sollte eine nutzergerechte Umsetzung im Fokus stehen. Durch die Implementierung des Hub Konzeptes im Projekt AW4.0 konnte die Diagnose über den Hub direkt eingebunden werden und die im Antrag beschriebenen Devices wurden im Hub integriert. Die ursprünglich geplante Anbindung von Diagnosesystemen als Endgeräte an das Ökosystem ist

damit nicht mehr erforderlich. Das in Arbeitspaket 3.1 definierte Ziel: Diagnosesysteme als Endgeräte mit Plattformfunktionen zu verbinden, um den reibungslosen Austausch von Daten und KI-Modellen bis auf das Endgerät zu gewährleisten ist damit erreicht worden.

Arbeitspaket 3.2 Systemdesign: Diagnosesystem

Im Rahmen des Arbeitspakets 3.2 wurde das Systemdesign für ein herstellerunabhängiges Diagnosesystem entwickelt, das über die klassische OBD-Fehlerspeicheranalyse hinausgeht und eine detaillierte Untersuchung elektrischer Signale im Fahrzeug ermöglicht. Dies umfasst die Entwicklung einer detaillierten Anforderungsanalyse mit den Projektpartnern, die Erstellung von Datenflussdiagrammen, Blockdiagrammen und Architekturmodellen für Hard- und Software sowie eine strategische Auswahl der Key-Komponenten.

Die Herausforderung bestand darin, eine leistungsfähige, modulare und flexibel einsetzbare Messtechnik zu entwickeln, die sich für eine präzise Fehlerdiagnose eignet und gleichzeitig den Anforderungen in der Werkstattumgebung standhält.

Als Entwicklungsgrundlage für dieses Diagnosesystem sollte der bereits entwickelte OmnAIScope 1.0 Prototyp aus dem vorhergegangenen Forschungsprojekt dienen. Herzstück dieses Messwandlers ist ein STM32-Mikrocontroller. Dieser war jedoch aufgrund von globalen Lieferengpässen nicht verfügbar, sodass im Rahmen des Projekts eine komplette Neuentwicklung des OmnAIScope notwendig wurde. Dies bedeutete ebenfalls, dass im Rahmen eines iterativen Entscheidungsprozesses unter Einbeziehung der Projektpartner die Minimalanforderungen neu evaluiert werden mussten. Als Alternative zu dem STM32-Mikrocontroller wurde der RP2040-Mikrocontroller der Raspberry Pi Foundation vorgeschlagen. Die Wahl fiel auf diesen Chip, da dieser kosteneffizient und kurzfristig verfügbar war.

Mit der Umstellung mussten jedoch die im Voraus geplante Anforderungen neu überprüft werden, da dieser Chip aufgrund der geringeren Leistungsfähigkeit nicht USB-2.0-fähig ist. Die Herausforderung bestand darin, die Leistungsgrenzen des RP2040 optimal auszunutzen und dabei eine möglichst hohe Abtastrate für die Signalerfassung zu erreichen. Nach umfassenden Berechnungen wurde eine maximale Abtastrate des OmnAIScope 2.0 von 100 kHz statt den vorher geplanten 1 MS/s ermittelt. Die Anforderungsanalyse zusammen mit den Projektpartnern ergab, dass mit einer Abtastrate von 100 kS/s und einer Amplitude von +/- 15 V alle anvisierten Diagnoseszenarien gemessen werden können. Aus Sicherheitsgründen wurde die Hardwareimplementierung auf eine Amplitude von +/- 100V festgelegt. Die Umsetzung eines Mehrkanal-Oszilloskops ist durch die begrenzte USB-Bandbreite des RP2040 ebenfalls nicht möglich. Stattdessen wurde eine Möglichkeit vorgeschlagen, mehrere Einkanal-Oszilloskope über USB miteinander zu synchronisieren und so die Funktionalität eines Mehrkanal-Oszilloskops ebenfalls darstellen zu können.

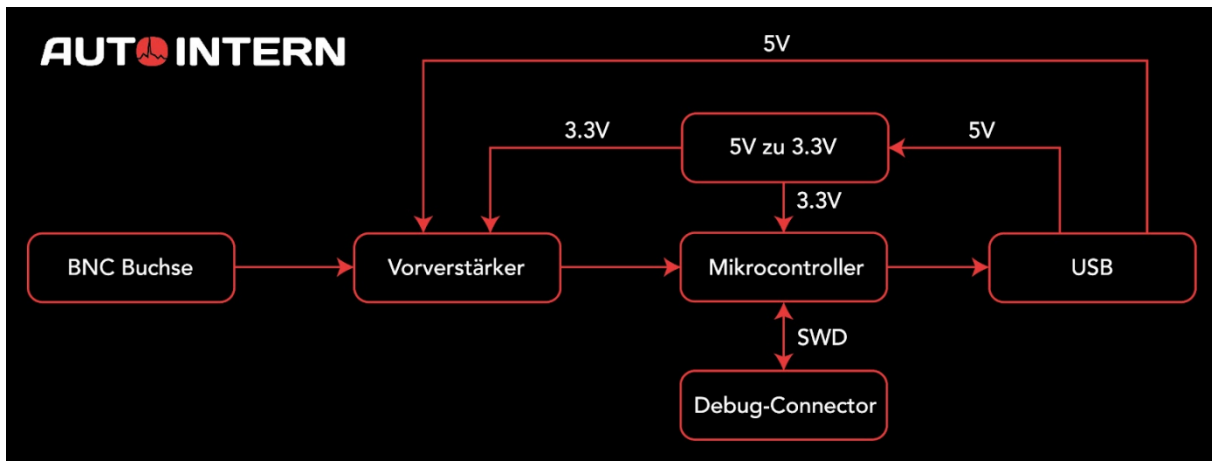


Abbildung 21 - Blockschaltbild OmnAIScope Komponenten

Im Projektantrag wurden drei Teilziele aufgeführt, welche die Entwicklung eines E-Feld-Messaufnehmers (TZ1), eines Mehrkanal-USB2.0-Messwandlers (TZ2) sowie eines Hochgeschwindigkeits-Messwandlers mit USB3.0 (TZ3) beinhalten. Durch die notwendige neue Architektur und den damit verbundenen Technologie-Stack wurde die Entwicklung auf die neuen Teilziele umgeplant, um keine negativen Auswirkungen auf das Projektziel zu bewirken. Diese sind:

- Neuentwicklung eines robusten und günstigen Einkanal-USB1.1-Messwandlers mit USB-C-Buchse
- Entwicklung einer Software-Lösung zur Synchronisierung der Einkanal-USB1.1-Messwandler
- Entwicklung eines isolierten USB2.0-Hubs mit USB-C-Buchsen zum Anschließen und Synchronisieren mehrerer Einkanal-USB1.1-Messwandler
- Entwicklung eines Einkanal-E-Feld-Messaufnehmers mit gleichem USB-Übertragungsprotokoll für Interoperabilität und Synchronisation mit den Einkanal-USB1.1-Messwandlern
- Entwicklung eines Hochgeschwindigkeits-Messwandlers mit USB3.0, mit FPGA statt Mikrocontroller zur Erreichung der hohen Datenraten

Mit dieser Umstellung waren jedoch erhebliche Entwicklungsaufwände verbunden, da der neue Mikrocontroller eine vollständige Neuentwicklung der Hard- und Firmware erforderte. Die gesamte Softwarearchitektur und das USB-Protokoll, das für die Kommunikation zwischen dem Oszilloskop und dem Laptop verantwortlich ist, mussten von Grund auf neu konzipiert und implementiert werden.

Im Laufe des Arbeitspakets wurden mehrere Möglichkeiten zum Design eines Gehäuses des E-Feld-Messaufnehmers, sowie des USB-Oszilloskops erstellt. Ein Design beinhaltet eine Wäscheklammer ähnliche Funktion, bei welcher das Signalkabel auf die Empfangssonde geklemmt wird. Die abschließenden Arbeiten in diesem Arbeitspaket umfassten die Entwicklung von Testkatalogen und Validierungsszenarien für Hard- und Software, um die Praxistauglichkeit der entwickelten Komponenten sicherzustellen. Zudem war die Auto-Intern GmbH aktiv in die interne Kommunikation und Abstimmungsprozesse mit den Projektpartnern eingebunden, um die technischen Entscheidungen mit den Anforderungen der Nutzenden abzugleichen.

Arbeitspaket 3.3 Software-/Hardware-Integration

Ein wesentlicher Bestandteil dieses Arbeitspakets war die Entwicklung einer zuverlässigen Schnittstelle zwischen Hardware und Software zur Anbindung des OmnAIScope 2.0 und der E-Feld-Sonde an ein PC-basiertes Diagnosesystem. Um eine stabile und effiziente Datenübertragung zu gewährleisten, wurde ein dedizierter USB-Treiber entwickelt, der eine nahtlose Kommunikation zwischen den Messgeräten und der Anwendungssoftware ermöglicht.

Die Implementierung dieser Treiber stellte eine besondere Herausforderung dar, da sowohl das OmnAIScope 2.0 als auch die E-Feld-Sonde unterschiedliche Signalverarbeitungsmethoden verwenden und gleichzeitig über eine einheitliche Schnittstelle angebunden werden sollten. Es wurde daher eine gemeinsame Treiberarchitektur geschaffen, die eine universelle Kommunikation zwischen den Messgeräten und der Softwareebene ermöglicht. Zunächst wurde die USB-Protokollstruktur definiert, um eine effiziente, latenzarme und stabile Datenübertragung sicherzustellen. Anschließend wurde die Implementierung in mehreren Proof-of-Concept Mini-PCBs getestet, um sicherzustellen, dass sowohl die Mikrocontroller-Firmware als auch die Hardware-Schnittstellen stabil arbeiten. Dies erforderte mehrere Entwicklungszyklen, da verschiedene USB-Implementierungen getestet und optimiert werden mussten.

Ein besonderes Augenmerk lag auf der Gateway- und Firmware-Implementierung für die USB-Schnittstelle, um eine hohe Kompatibilität mit gängigen Betriebssystemen (Windows/Linux) sicherzustellen. Dabei wurden sowohl Treiber für den direkten Zugriff auf die Messhardware entwickelt als auch eine Abstraktionsschicht für die reibungslose Integration in bestehende Diagnoseanwendungen geschaffen.

Iterative Testverfahren und Optimierungen

Nach der ersten Implementierung wurde der Treiber einer umfangreichen Testphase unterzogen, um Stabilität, Datenkonsistenz und Latenzzeiten zu optimieren. Dabei wurden Testkataloge für Software, Firmware und Hardware erstellt, um die Performance der USB-Schnittstelle und die Zuverlässigkeit der Datenübertragung systematisch zu evaluieren.

In mehreren agilen Korrekturschleifen wurden die USB-Treiber für das OmnAIScope 2.0 und die E-Feld-Sonde kontinuierlich verbessert. Es wurden strukturierte Einzelgespräche mit den beteiligten Projektpartnern durchgeführt, um die Anforderungen an die Schnittstellen zu definieren und funktionale Testszenarien für die Evaluation der USB-Implementierung zu entwickeln. Die Testverfahren umfassten:

- Übertragung großer Datenmengen über USB 1.1, um Engpässe oder Verzögerungen zu identifizieren
- Vergleichsmessungen zur Synchronisation mehrerer Messgeräte, um die Mehrkanalfähigkeit zu optimieren
- Stabilitätstests unter realen Werkstattbedingungen, um sicherzustellen, dass die USB-Schnittstelle auch unter mechanischer Belastung fehlerfrei arbeitet

Ein zentrales Ergebnis dieser Optimierungsphase war die Erstellung und Fertigung mehrerer Prototypen-PCBs für die USB-Kommunikation, die dann in unterschiedlichen Konfigurationen getestet wurden. Zusätzlich wurden mehrere Gehäuse-Prototypen für die Messsysteme entwickelt, die eine stabile mechanische Anbindung der USB-Schnittstelle gewährleisten.

Des Weiteren wurde ein OmniAScope Simulator implementiert, welcher zu Projektpartnern geschickt wurde, um die korrekte Funktionsweise der Hardwareanbindung mit der Software zu validieren. Dies hat den Vorteil, dass keine Testsignale mit Laborequipment angelegt werden müssen, sondern der Simulator vordefinierte Testsignale sendet.



Abbildung 22 - Development Board mit OmniAScope Simulator Auflistung unter Linux

Benutzerfreundlichkeit und Integration in den Werkstattalltag

Neben der technischen Entwicklung der USB-Schnittstelle wurde besonderes Augenmerk auf die anwenderfreundliche Nutzung des Diagnosesystems gelegt. Da es sich um eine neuartige Form der Messwerterfassung handelt, war es essenziell, eine intuitive Einführung und praxisnahe Unterstützung bereitzustellen. Um den Einstieg in die Nutzung des Systems zu erleichtern, wurde ein Quickstart-Flyer erstellt, der die wesentlichen Funktionen und den praktischen Einsatz kompakt erläutert. Ergänzend dazu wurde eine dedizierte Support-Webseite für den Kfz-Bereich entwickelt. Diese Plattform bietet detaillierte Anleitungen, Lösungsvorschläge für häufig auftretende Probleme sowie fortlaufend aktualisierte Informationen zu den Messverfahren und Analysefunktionen.

Die Entscheidung, auf eine dynamische Support-Webseite statt eines statischen Benutzerhandbuchs zu setzen, wurde bewusst getroffen. Da die Fahrzeugkomponenten, mit denen die Werkstätten arbeiten, je nach Modell und Baujahr variieren, wäre ein klassisches Handbuch schnell veraltet oder unzureichend detailliert. Zudem sind die durch das Diagnosesystem generierten Analysen direkt von den bereits verfügbaren KI-gestützten Auswertungen abhängig, was eine kontinuierliche Anpassung der Informationen erforderlich macht. Durch die modulare und flexibel erweiterbare Struktur der Support-Webseite können Inhalte gezielt aktualisiert, erweitert und an neue technische Entwicklungen angepasst werden, ohne dass Werkstätten auf veraltete oder unvollständige Dokumentationen angewiesen sind.

Dies gewährleistet nicht nur eine hohe Informationsqualität, sondern auch eine übersichtliche, anwendungsorientierte und praxisnahe Unterstützung für die tägliche Arbeit mit dem Diagnosesystem.

Ergebnisse und Mehrwert der USB-Treiber

Durch die Umsetzung dieser Maßnahmen konnte eine leistungsfähige, stabile und zukunftsfähige USB-Schnittstelle geschaffen werden, die eine effiziente und latenzarme Anbindung der Messsysteme an die Anwendungssoftware ermöglicht. Die enge Abstimmung mit den Projektpartnern und das iterative Testverfahren stellten sicher, dass die entwickelten Treiber unter realen Werkstattbedingungen zuverlässig funktionierten.

Besonders hervorzuheben ist, dass durch die gemeinsame Treiberarchitektur für das OmnAIScope 2.0 und die E-Feld-Sonde eine skalierbare und flexible Lösung geschaffen wurde, die auch für zukünftige Erweiterungen genutzt werden kann. Die umfangreichen Testszenarien und Korrekturschleifen führten zu einer signifikanten Verbesserung der USB-Kommunikation, wodurch eine robuste, praxistaugliche und einfach nutzbare Schnittstelle entstand.

Arbeitspaket 3.4 Weiterentwicklung: Messsystem Hardware

Im Rahmen der Weiterentwicklung der Messsystem-Hardware lag der Schwerpunkt auf der Optimierung mechanischer und elektronischer Komponenten zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit, der Fertigungsqualität und der Praxistauglichkeit im Werkstattbetrieb. Da, wie beim Systemdesign festgestellt wurde, eine komplette Neuentwicklung der Hard- und Firmware notwendig war, musste zuerst ein Proof-of-Concept (PoC) und Prototyp entwickelt werden. Danach konnte der Fokus auf Hardwareanpassungen für die 0-Serienproduktion als auch die systematische Einbindung des Nutzerfeedbacks aus Werkstätten, um eine praxisgerechte Weiterentwicklung der Messsysteme sicherzustellen, gelegt werden.

Entwicklung OmnAIScope v2.0

Ein zentraler Bestandteil des Optimierungsprozesses war die Entwicklung und Fertigung von Proof-of-Concept (PoC) Mini-PCBs für Mikrocontroller, Verstärkerschaltungen und Analog-Digital-Wandler (ADC). Die ersten Prototypen des OmnAIScope v2.0 wurden modular auf einer eigens entwickelten Edgy-Technologie aufgebaut, um eine schrittweise Evaluierung einzelner Komponenten zu ermöglichen. Die einzelnen Edgys wurden ebenfalls als Open-Source-Designs veröffentlicht.

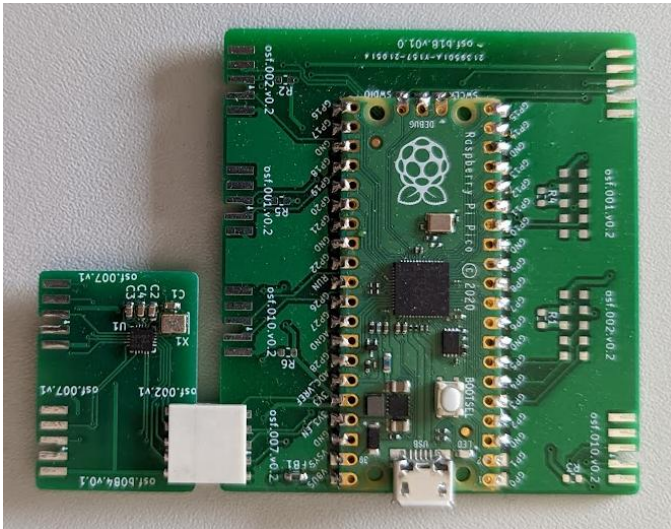


Abbildung 23 - RP2040 Mikrocontroller Edgy mit weiterer Komponente

In den darauffolgenden Iterationen wurden gezielte Hardware- und Firmwareanpassungen der Edgy vorgenommen, um Messgenauigkeit, Datenerfassung und Langzeitstabilität zu verbessern. Als die Ergebnisse zufriedenstellend waren, wurde dann aus den einzelnen Edgy-Komponenten eine zusammengehörige Platine implementiert und gefertigt. In mehreren Iterationen wurden dabei Fehler behoben und das Design nach Platzbedarf, Genauigkeit und Langlebigkeit weiter verbessert.

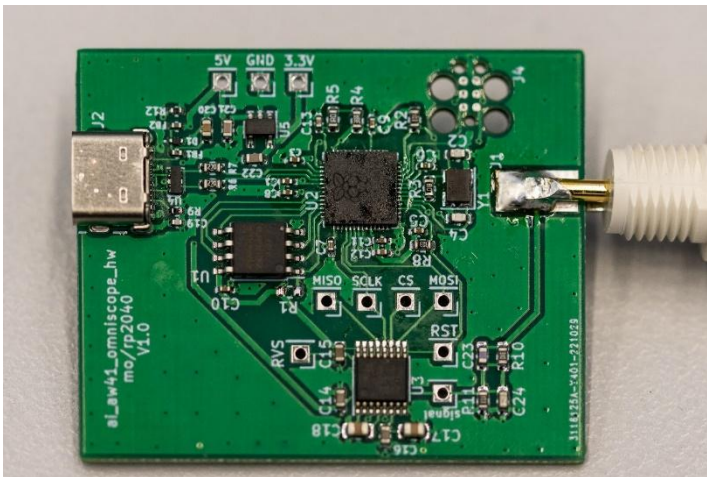


Abbildung 24 - OmnAIScope Platine v1.0 Prototyp vorgestellt auf der Hannover Messe 2022

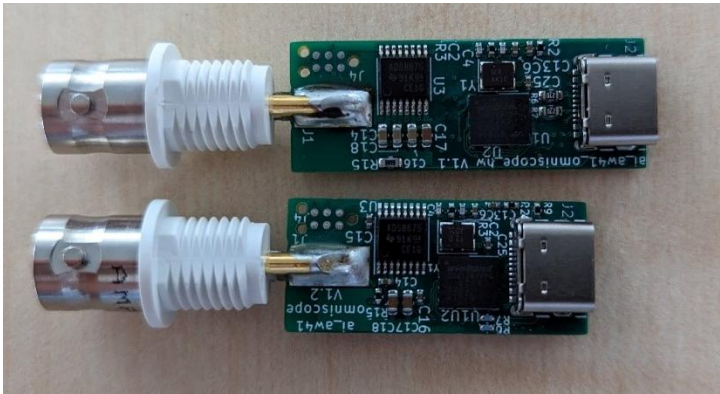


Abbildung 25 - OmniAScope Platine v1.1 und v1.2 im Vergleich

Parallel zur Hardwareentwicklung wurde das Gehäusedesign auf Grundlage eines Aluminium-Rohrs mehrfach überarbeitet, um eine höhere Stabilität und verbesserte Handhabung zu erreichen. In den ersten Testphasen zeigten sich insbesondere Herausforderungen in Bezug auf mechanische Belastungen im Werkstattbetrieb. Um die Langlebigkeit des Systems zu erhöhen, wurde die USB-C-Schnittstelle mit einem verbesserten Epoxidharz vergossen, wodurch die mechanische Stabilität signifikant verbessert wurde.



Abbildung 26 - Erster Gehäuse Prototyp

Zusätzlich wurde ein wasserfester USB-Anschluss integriert, um eine höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber Feuchtigkeit und Schmutz zu gewährleisten. Für die Verbesserung des Produktionsprozesses wurden zudem, in Zusammenarbeit mit der Technischen Hochschule Georg Agricola, Gummidichtringe integriert, die die Ausschussrate der produzierten Diagnosegeräte reduzieren.

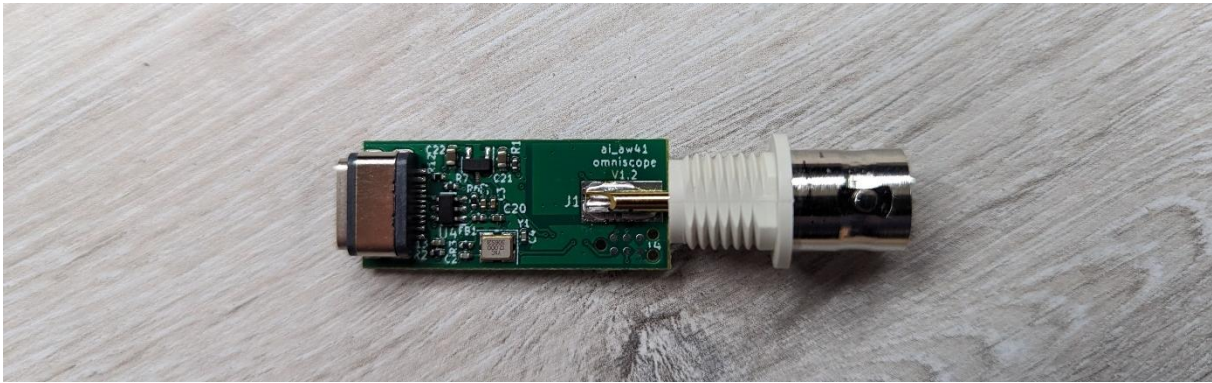


Abbildung 27 - Verbesserte OmnAIScope v1.2 Platine mit ausgerichtetem BNC & wasserfestem USB-C

Eine weitere Optimierung betraf die BNC-Anschlüsse für die Messsignale, deren präzisere Justierung die Signalqualität verbesserte und Fertigungstoleranzen minimierte. Diese Maßnahme trug dazu bei, dass die Signalübertragung konstanter und zuverlässiger wurde, was für die präzise Fehlerdiagnose in Werkstätten von entscheidender Bedeutung ist. Die letzte Version wurde als 0-Serie mit maschineller SMD-Bestückung mit 180 Stück für den Rollout gefertigt.



Abbildung 28 - Verbesserte Version des OmnAIScope mit ausgerichtetem BNC in rot eloxiertem Aluminiumgehäuse

Nutzung des Nutzerfeedbacks aus den Werkstätten

Nach der Fertigung der ersten Prototypen wurden Oszilloskope an ausgewählte Werkstätten ausgeliefert, um eine praxisnahe Evaluierung durchzuführen. In mehreren strukturierten Feedbackrunden mit Werkstattpersonal wurden konkrete Verbesserungsvorschläge erfasst und analysiert. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden gezielt in die agilen Korrekturschleifen der Hardware und Firmware integriert. Besonders wertvolle Rückmeldungen betrafen die Bedienbarkeit und Robustheit der Geräte. Infolgedessen wurden Gehäusematerialien weiter optimiert, um eine höhere Stoß- und Vibrationsfestigkeit zu erreichen. Ebenso wurden die mechanischen Verbindungen der Anschlüsse überarbeitet, um eine noch stabilere Befestigung sicherzustellen.

Zusätzlich wurde die Datenübertragungsstabilität über USB weiter optimiert, um Fehler in der Echtzeitkommunikation zwischen Messgerät und Software zu minimieren. In diesem Zusammenhang wurden Gateway- und Firmware-Anpassungen für die USB-Kommunikation und den ADC vorgenommen, um eine präzisere Datenverarbeitung und Synchronisation mehrerer OmnAIScope-Einheiten zu gewährleisten.

Entwicklung E-Feld-Messaufnehmer

Neben dem OmniAScope v2.0 wurde auch ein E-Feld-Messaufnehmer entwickelt. Ziel des E-Feld-Messaufnehmers ist es, Signale nicht-invasiv durch physikalischen Kontakt mit den leitenden Adern messen zu können. Dies ist vor allem bei Komponenten, die mit dem Motorsteuergerät verbunden sind, wichtig, da Änderungen an der Signalübertragung, wie z.B. bei der Nutzung einer Break-Out-Box, zu Störungen im Steuergerät führen können.

Wie auch beim OmniAScope wurde der erste Proof of Concept mit Edgy Platinen realisiert und getestet. Die wichtigste Neuerung war dabei das Analog-Frontend, welches das elektrische Feld (E-Feld) über einen Verstärker in eine Spannung umwandelt, welche wiederum digitalisiert werden kann. Die initialen Konzeptentwürfe wurden iterativ überarbeitet und als Proof-of-Concept-Platinen in der Praxis getestet. Dabei wurde früh erkannt, dass die Messsignale extrem schwach sind und bereits in einem frühen Stadium verstärkt und digitalisiert werden müssen, um eine zuverlässige Erfassung zu gewährleisten. Dies führte zur Entscheidung, eine frühe Digitalisierung mit einem dedizierten Analog-Digital-Wandler (ADC) zu implementieren, der eine höhere Amplitudenauflösung und eine Reduktion des Messrauschens ermöglicht.

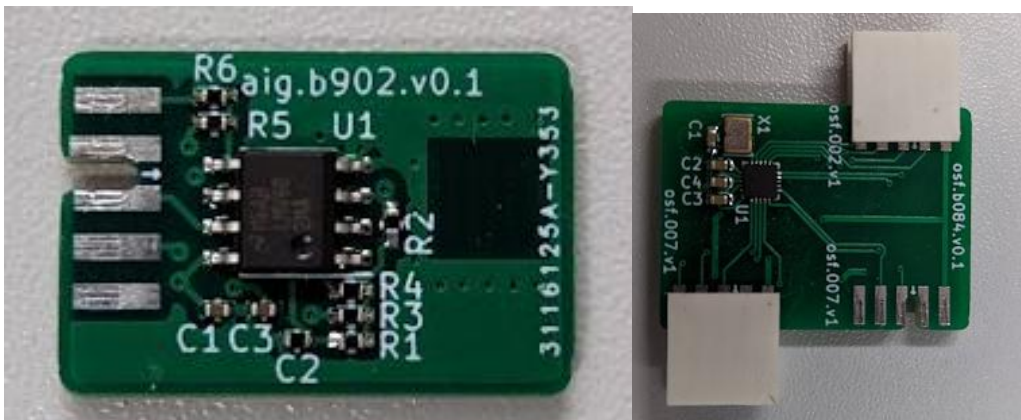


Abbildung 29 - Edgy E-Feld Analog-Frontend und RP2040 Mikrocontroller in kleinem Formfaktor

Zur weiteren Validierung der Hardware wurden umfangreiche Testverfahren mit Funktionsgeneratoren durchgeführt, um die Empfindlichkeit und die Signalverarbeitung der E-Feld-Sonde zu verbessern. Durch die Kombination von hardwareseitiger Optimierung und Firmwareanpassungen konnte die Messgenauigkeit schrittweise erhöht werden und zufriedenstellende Ergebnisse im Labor liefern.

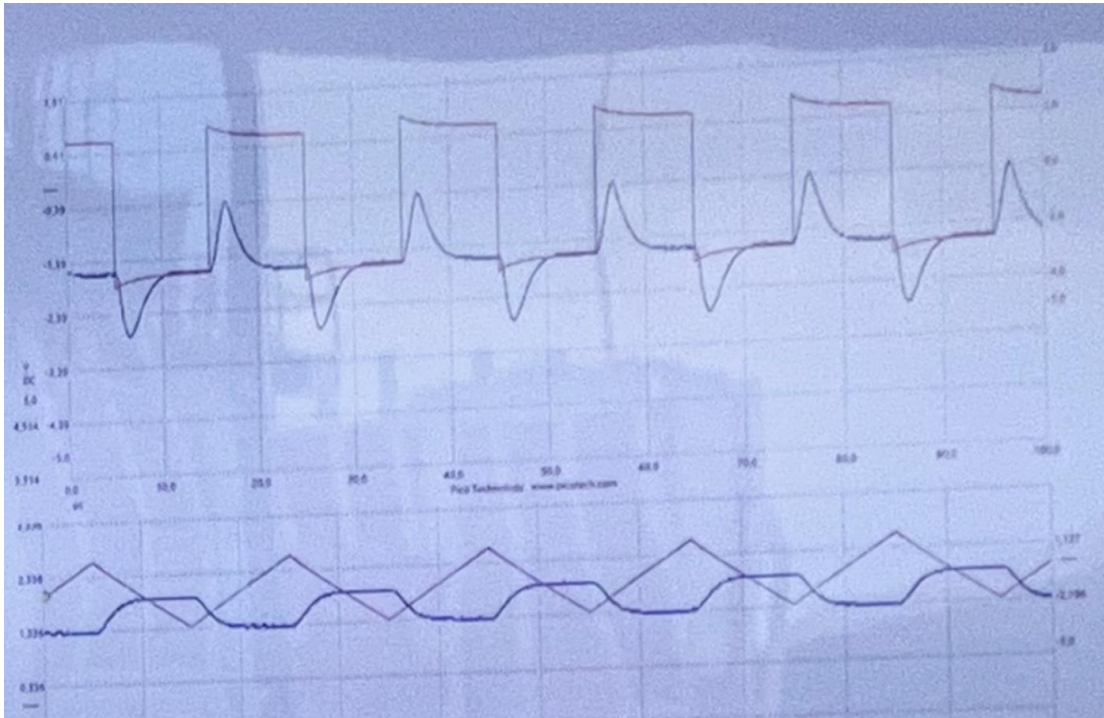


Abbildung 30 - Synchronisierte Spannungs- und E-Feld-Messsignale

Trotz der technischen Fortschritte in der Signalverarbeitung zeigte sich, dass die Messgenauigkeit der E-Feld-Sonde in einer realen Werkstattumgebung nicht ausreicht. Aus diesem Grund wurde eine 0-Serie des E-Feld-Messaufnehmers produziert von 5 Stück und die Firmware finalisiert, sodass sie mit dem AW4.0 USB-Treiber harmonisiert, jedoch kam der Messaufnehmer beim Rollout nicht zum Einsatz. Die Entwicklung liefert jedoch wichtige Erkenntnisse für eine zukünftige Weiterentwicklung hin zu einem praxistauglichen Messwandler.



Abbildung 31 - E-Feld-Messaufnehmer v1.0

Optimierung des Produktionsprozesses und Entscheidung gegen das Mehrkanal-Oszilloskop

Ein weiterer zentraler Aspekt der Weiterentwicklung betraf die Optimierung des Fertigungsprozesses, um eine effizientere Produktion und geringere Ausschussraten zu erreichen. In Zusammenarbeit mit den Fertigungspartnern wurden präzisere Produktionsverfahren eingeführt, die eine höhere Wiederholgenauigkeit und Qualitätskontrolle ermöglichen.

Entwicklung USB2.0 Hub Prototyp und Synchronisation

Im Systemdesign wurde bereits aufgrund der geringen USB-Datenrate beschlossen, dass das OmnAIScope als Einkanal Oszilloskop entwickelt werden soll und mittels Software mehrere OmnAIScopes synchronisiert werden können. Das Verfahren nutzt dabei das Taktsignal des USB-Controllers. Im Laufe des Projekts wurden etliche iterative Verbesserungen an der Synchronisation in Soft- und Firmware durchgeführt, um die Stabilität und Genauigkeit zu verbessern. Zum Projektabschluss ist eine stabile Softwaresynchronisation erreicht worden.

Da das Taktsignal des USB-Controllers genutzt wird, ist es nicht möglich beliebige USB-Ports am PC zu verwenden, da sie oft nicht über denselben USB-Controller betrieben werden und so die Taktsignale unterschiedlich sind. Demzufolge empfiehlt es sich, einen USB-Hub mit einem USB-Controller zu nutzen. Diese sind jedoch oft nur mit bis zu 4 USB-Ports erhältlich, da ab 5 oft ein zweiter USB-Controller aus Kostengründen eingesetzt wird. Im Projekt wurde daher ein Prototyp eines 7-Kanal USB2.0 Hubs entworfen. Dieser besitzt nur einen USB-Controller und eignet sich daher, um bis zu 7 OmnAIScope miteinander zu synchronisieren. Des Weiteren wurde die Implementierung einer weiteren Hub-Version mit einem Isolator angefangen, die sich in der Entwicklungsphase befindet. Dies ist wichtig, da oft an Autos gemessen wird, welche ein anderes Masse Potenzial besitzen. Bei normalen Oszilloskopmessungen muss sichergestellt werden, dass kein Kurzschluss zwischen der Masse des Autos über Oszilloskop, Laptop und Ladekabel zur Steckdose entsteht. Dies wird normalerweise darüber geregelt, dass der Laptop entweder nicht geladen werden darf oder ein Transformator zwischen Steckdose und Ladegerät geschaltet wird. Mit diesem USB-Hub Prototyp ist das jedoch nicht mehr notwendig.



Abbildung 3221 - 7-Kanal USB2.0 Hubs

Entwicklung Hochgeschwindigkeits-Messwandlers mit USB3.0

Für die Basis des Hochgeschwindigkeits-Messwandlers mit USB3.0 wurde ein Kintex 7 FPGA ausgewählt. Der FPGA ist notwendig für die Implementierung der Hochgeschwindigkeits-Datenübertragung und Digitalisierung. In der Projektlaufzeit wurde bereits die USB-Kommunikation implementiert, jedoch noch ohne Schnittstelle zum Analog-Digitalwandler oder Kompatibilität zum AW4.0-USB-Treiber. Die Entwicklung wurde eingestellt, da das Projekt Unterstützung bei der Entwicklung der Messsystemsoftware benötigte und Auto-Intern daher die Entwicklung dort größtenteils übernommen hat. Diese Entscheidung war maßgeblich für den erfolgreichen Rollout des Diagnosesystems in den Werkstätten.

Ergebnisse und Mehrwert der Optimierungsmaßnahmen

Die im Rahmen dieses Arbeitspakets umgesetzten Optimierungen führten zu einer signifikanten Verbesserung der mechanischen Stabilität, Fertigungsqualität und der Messgenauigkeit der Systeme. Durch die iterative Weiterentwicklung unter Einbeziehung des Nutzerfeedbacks aus den Werkstätten konnte sichergestellt werden, dass das entwickelte Messsystem praxisnah, robust und langfristig einsetzbar ist.

Besonders hervorzuheben sind die folgenden Ergebnisse:

- Optimierung für die 0-Serienproduktion, um eine fehlerfreie und effiziente Fertigung zu gewährleisten
- Erhöhte mechanische Widerstandsfähigkeit durch verstärkte USB-C-Buchsen, überarbeitetes Gehäuse und stabilere BNC-Anschlüsse
- Verbesserte Messgenauigkeit der E-Feld-Sonde durch gezielte Anpassungen an der Sensorik und den digitalen Signalverarbeitungsalgorithmen
- Erfolgreiche Synchronisation mehrerer OmnAIScope-Geräte über USB, wodurch das ursprünglich geplante Mehrkanal-Oszilloskop obsolet wurde
- Praxisgerechte Verbesserungen basierend auf direktem Feedback aus Werkstätten, um eine optimale Bedienbarkeit und Zuverlässigkeit sicherzustellen
- Reduzierung der Produktionsausschussrate durch verbesserte Fertigungstechniken und optimierte Qualitätskontrollprozesse

Diese Entwicklungen stellen sicher, dass die Hardware des Diagnosesystems langfristig den Anforderungen der Werkstätten entspricht, eine präzise Fehleranalyse ermöglicht und in einer produktionsgerechten Qualität gefertigt werden kann.

Arbeitspaket 3.5 Entwicklung Messsystem-Software

Das Arbeitspaket 3.5 zur Entwicklung der Messsystem-Software hatte zum Ziel, eine hochgradig leistungsfähige und benutzerfreundliche Softwarelösung zu schaffen, die es Werkstätten ermöglicht, die erhobenen Daten des USB-Oszilloskops sowie der E-Feldsonde effizient zu analysieren. Besonders im Fokus stand die Entwicklung einer grafischen Benutzeroberfläche (GUI), die eine einfache Bedienbarkeit und präzise Auswertungen ermöglicht. Angesichts der hohen Datenmengen, die verarbeitet werden mussten, fiel die Entscheidung, das Frontend in der Programmiersprache C++ zu entwickeln. Diese Wahl ermöglichte eine schnelle Verarbeitung und Darstellung großer Datenmengen in der grafischen Oberfläche. Die Entwicklung erfolgte in einem strukturierten Ablauf, wobei zunächst das Konzept erstellt wurde. Unter der Leitung der Technischen Hochschule Georg Agricola und in enger Zusammenarbeit mit der Auto Intern GmbH wurde die Software implementiert. Der Entwicklungsprozess begann mit einer detaillierten Anforderungsanalyse, um die Anforderungen der Werkstätten genau zu verstehen. Daraufhin wurde eine erste Version der Software entwickelt, die als Proof of Concept (PoC) fungierte und es ermöglichte, die Daten der USB-Geräte in einem Graphen darzustellen. Diese Version war sowohl für Linux als auch für Windows-Betriebssysteme verfügbar.

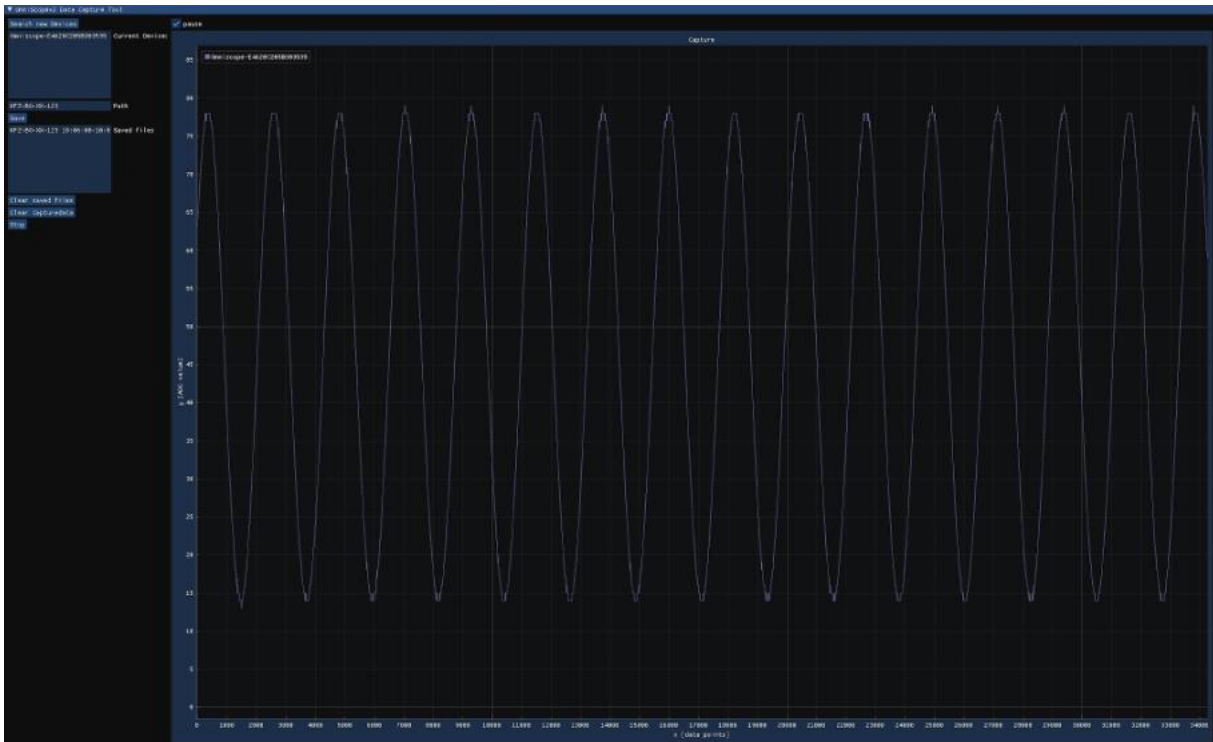


Abbildung 3322 - V1.0 der Oszilloskop-Software

Im Anschluss erfolgt die zweite Phase der Entwicklung, bei der aufgrund intensiver Rücksprachen mit den Werkstätten wichtige Features implementiert wurden. Dazu zählten neben einer verbesserten Datenanzeige und Gerätesteuerung auch die Datenspeicherung und eine benutzerfreundlichere Oberfläche. Zudem wurde eine Schnittstelle zu einer von der Technischen Hochschule Georg Agricola entwickelten REST-API integriert, um Datensätze zu speichern und für die weitere Verarbeitung bereitzustellen. Hierbei wurde ein besonderes Augenmerk auf eine schnelle Visualisierung und Aktualisierung der Daten gelegt, was durch die verwendeten C++-Technologien ermöglicht wurde. Zusätzliche Herausforderungen traten auf, da der Ausbau der grafischen Benutzeroberfläche komplexer war als ursprünglich angenommen – selbst kleinere Änderungen erforderten einen erheblichen Arbeitsaufwand.

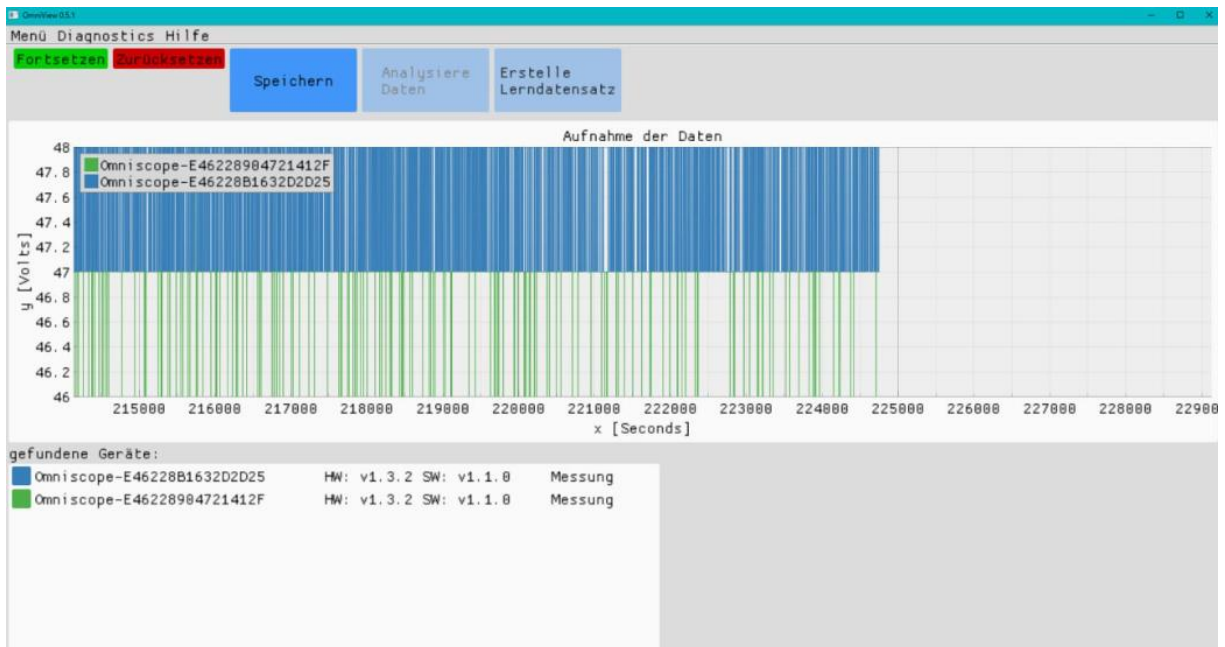


Abbildung 3423 - Oszilloskop-Software Version 2.0

In einer dritten Iteration standen die Beseitigung von unerwartetem Verhalten und die weitere Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit im Vordergrund. Das Design der Software wurde überarbeitet, um eine intuitive Bedienung sicherzustellen, und es kamen verstärkt visuelle Elemente zum Einsatz. Da die nahtlose Integration des Werkstatt-Hub-Systems in das C++-Frontend sich als äußerst aufwendig erwies, wurde stattdessen eine Exportfunktion für Messdaten realisiert. Diese ermöglicht es, Daten manuell über die Weboberfläche des Werkstatt-Hubs bereitzustellen, was den Nutzenden zusätzliche Flexibilität bei der Analyse bietet. Zudem ermöglicht es, die Daten offline aufzunehmen und erst bei einer vorhandenen Netzverbindung dem Hub zur Verfügung zu stellen.

Insgesamt entstanden drei Versionen der Software, die sämtliche Kernfunktionen eines herkömmlichen Oszilloskops abdecken und zudem für den Einsatz in Werkstätten optimiert wurden. Sie erlauben es, Messdaten aufzunehmen, zu speichern, erneut anzuzeigen und auch ältere Datensätze zu laden. Weiterhin ist eine Sprachumschaltung zwischen Deutsch und Englisch möglich, und die exportierten Daten können für weiterführende KI-Analysen genutzt werden. Durch diesen mehrstufigen Entwicklungsprozess liegt nun eine leistungsfähige und praxisnahe Lösung vor, die den Werkstätten eine effiziente und flexible Messdatenerfassung und -auswertung ermöglicht.

Die OmniaView Software ist als Open-Source-Projekt auf GitHub verfügbar: <https://github.com/skunkforce/OmnIAView>



Abbildung 3524 - Oszilloskop-Software Version 3.0

Arbeitspaket 4.1 Administration & Konfigurationswerkzeuge

Ziel dieses Teilarbeitspaketes ist die technische Entwicklung der Plattform gewesen. Im Detail betrifft dies den Aufbau und die Integration der genutzten Server incl. relevanter Konfigurationen für die Plattformentwicklung. Auch die administrativen Aufgaben für die Plattformentwicklung werden in diesem Arbeitspaket umgesetzt.

Hintergrund

Im Hub gibt es drei Hauptthemen:

- Innovative Messtechnik
- KI gestützte Fehlerdiagnose
- Gaia-X

Im Rahmen der 2022 durchgeführten Arbeiten und Gespräche wurden seitens der Technischen Hochschule Georg Agricola in Zusammenarbeit mit der Hochschule Osnabrück und der LMIS AG verschiedene Anforderungen in diesen Bereichen identifiziert, insbesondere Aufgaben und Probleme, welche durch das System Autowerkstatt 4.0 gelöst werden sollen. Um die Anforderungen ableiten zu können, wurden seitens der LMIS AG anschließend vier Szenarien formuliert. Die daraus resultierenden Aufgaben/Probleme werden in der von der Technischen Hochschule Georg Agricola dargestellten Anforderungsanalyse genauer beschrieben. Darauf aufbauend wird im Abschnitt Lösungsansatz eine Übersicht des AW4.0 Hub präsentiert.

Szenarien

Ein Szenario ist eine Situation, die mögliche Ereignisse, Bedingungen und Folgen beschreibt.

Szenario 1: Kauf von Assets

Die Werkstatt hat bisher nur ältere Modelle zur Diagnose von Fahrzeugen, die nicht mehr alle Funktionen abdecken können. Sie möchte daher ein neues Modell erwerben, welches auf dem neuesten Stand der Technik ist und alle relevanten Daten auswerten kann. Um ein solches Modell zu finden, nutzt sie die Datenraum-Oberfläche des Werkstatt-Hubs, der einen Markt für den Austausch von Daten und Dienstleistungen zwischen Werkstätten und anderen Akteuren bietet. Dort kann die Werkstatt mithilfe verschiedener Kriterien nach passenden Modellen suchen, wie z.B. Preis, Leistung, Bewertung oder Verfügbarkeit.

Nach einer kurzen Suche findet die Werkstatt ein Modell, welches ihren Anforderungen entspricht. Sie entscheidet sich, das Modell zu kaufen und schließt einen Vertrag mit dem Anbieter ab. Der Vertrag regelt die Bedingungen für die Nutzung des Modells, wie z.B. die Laufzeit, den Umfang, die Kosten oder die Haftung. Nachdem der Vertrag abgeschlossen ist, wird das Modell entweder auf den Werkstatt-Hub geladen oder der Zugriff auf das Modell wird über den Datenraum gewährt. Die Werkstatt kann nun das Modell zur Diagnose von Fahrzeugen verwenden.

Szenario 2: Verkauf von Assets

Um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhöhen, plant die Werkstatt, ihre gesammelten Fahrzeugdaten als Asset zu vermarkten. Die Werkstatt hat bereits mehrere Fahrzeuge über den Werkstatt-Hub diagnostiziert und dabei Daten erzeugt. Die Werkstatt möchte diese Daten nutzen, um in Zukunft bessere Diagnosemodelle anwenden zu können. Mit Hilfe der Datenraum Oberfläche kann die Werkstatt die gewünschten Daten auswählen und zu einem Asset bündeln. Sie legt die Vertragsbedingungen fest und erstellt eine Asset-Beschreibung. Im Anschluss werden die Werkstatt-Daten anonymisiert und als Asset-Angebot auf den Markt gebracht.

Szenario 3: Diagnose

Die Werkstatt führt eine Diagnose am Fahrzeug mittels des AW 4.0 Werkstatt-Hubs durch. In diesem Szenario wird die Diagnose anhand von Oszilloskop Daten beschrieben.

Eine Werkstatt erhält ein Fahrzeug zur Diagnose, welches einen Fehler aufweist. Um die Ursache des Fehlers zu ermitteln, nutzt die Werkstatt den AW 4.0 Werkstatt-Hub und legt einen Fall für die Diagnose an. Der Werkstatt-Hub liest die OBD-Daten des Fahrzeugs aus, welche als Kontext bei der Befragung des Wissensgraphen dienen, um das wahrscheinlichste defekte Bauteil zu bestimmen. Anschließend ruft der Werkstatt-Hub die entsprechende Diagnose für das Bauteil auf und gibt der Werkstatt die Anforderungen und Anweisungen für eine Oszilloskop Messung. Die Werkstatt führt die Messung gemäß den Vorgaben durch und leitet die Messdaten an den Werkstatt-Hub weiter. Der Werkstatt-Hub interpretiert die Messdaten und identifiziert das defekte Bauteil. Nachdem die Werkstatt das Bauteil ausgetauscht hat, markiert sie den Fall im Werkstatt-Hub als abgeschlossen.

Anforderungsanalyse

Im AW4.0 Universum gibt es verschiedene *Rollen* in Form von Benutzer- / Anwenderebenen, die mit dem System interagieren.

Diese sind:

- Werkstatt
- Betreiberfirma
- Datenraum
- Fahrzeug
- Messsystem

Diese Rollen sind mit ihren jeweiligen Beziehungen im untenstehenden Diagramm dargestellt.

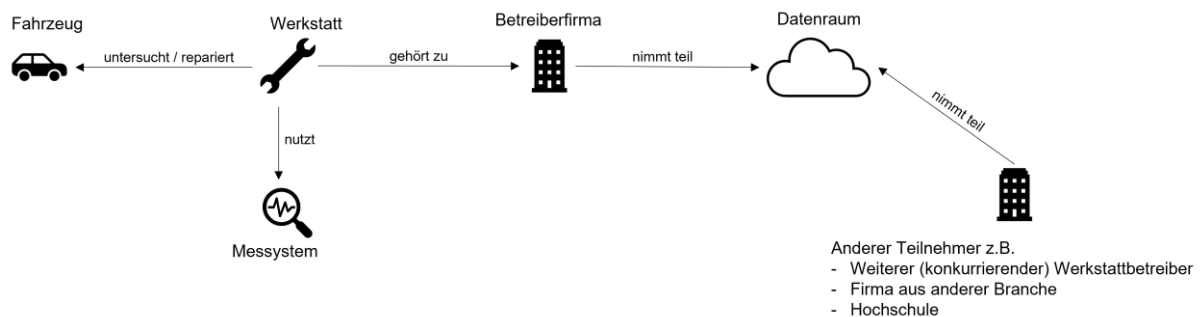


Abbildung 3625 - Big Picture der übergreifenden Struktur

Aufbauend auf diesen Überlegungen zur Struktur des AW4.0 Universums konnten sich konkrete Funktionalitäten identifizieren lassen, die das System haben soll. Diese werden im Folgenden beschrieben.

Neben der Durchführung von Messungen muss im Umfeld der Werkstatt ein einfaches *Datenmanagement* vorausgesetzt werden. Es sollte dabei möglich sein, neue "Fälle" anzulegen, wenn ein Auto in die Werkstatt kommt. Diese Fälle sollten z.B. bearbeitet, durchsucht und gelöscht werden können.

Mitarbeitende in Werkstätten sollten außerdem die Möglichkeit haben, KI unterstützte Fehlerdiagnose durchzuführen, indem die am DFKI entwickelte State Machine in die Anwendung kommt. Dabei soll die Integration gängiger Messsysteme von verschiedenen Herstellern berücksichtigt werden, d.h. es sollte möglich sein, die Daten unterschiedlicher Messsysteme zu einem Fall hinzuzufügen, damit diese von der KI verwertet werden können.

Autowerkstatt 4.0 soll außerdem Anforderungen auf der höher gelagerten Ebene der Betreiberfirma erfüllen. Hier sollte es möglich sein, die eigenen Geschäftsdaten sicher zu verwalten, wobei insbesondere der Schutz personenbezogener Informationen von Mitarbeitenden und Kunden sicherzustellen ist.

Eine weitere Anforderung im Umfeld der Betreiberfirma ist die *Teilnahme am AW4.0 Datenraum*, welche im Folgenden näher erläutert wird:

Teilnahme am AW 4.0 Datenraum

Der Werkstatt-Hub muss einen nach der Gaia-X 10.23 Architektur konformen Zugriff auf den Datenraum gewährleisten. Dabei fungiert der Hub jeweils in der Rolle des Consumers (Kauf von Assets, wie KI-Modellen) und Providers (Verkauf von Assets wie Daten). Daraus ergeben sich folgende Anforderungen:

- Erwerb/Integration eines Gaia-X Credentials, mit welchem man sich als self sovereign identity ausweisen kann.
- Identifikation im Datenraum mit einem (erweiterten) Gaia-X Credential.
- Vertragsabwicklung für den Kauf von Assets, sowie das Aufsetzen eigener Verträge (Policies) für den Verkauf von Assets.
- Selbstbestimmter Erwerb von Assets aus dem Datenraum für eine effizientere Diagnose.
- Selbstbestimmter Verkauf von Assets im Datenraum.
- Empfang von Assets als Consumer.
- Weitergabe von Assets als Provider.

Lösungsansatz

Das hier beschriebene System ist ein Prototyp für den *Autowerkstatt 4.0 Hub*. Dieser ist ein IT-System, mit dem die im vorherigen Abschnitt beschriebenen Anforderungen erfüllt werden sollen.

Die wichtigsten Ideen sind:

Eine Betreiberfirma hat einen AW4.0 Hub.

- Dieser ist ein Firmen-eigenes IT-System, auf dem nur die eigenen Geschäftsdaten verwaltet werden.
- Nur die eigenen Mitarbeitenden (in Werkstätten oder Zentrale) interagieren mit diesem System.

Ein Hub besteht aus verschiedenen Services / Komponenten.

- Diese stellen für die Mitarbeitenden in den Werkstätten die benötigten Funktionalitäten zur Verwaltung von Fällen und zur KI gestützten Fehlerdiagnose bereit.
- Weitere Services ermöglichen der Betreiberfirma die selbstbestimmte Verwaltung und Weitergabe der eigenen Geschäftsdaten.

Damit ist der Hub wie in der folgenden Abbildung dargestellt in das AW4.0 Universum einzuordnen:

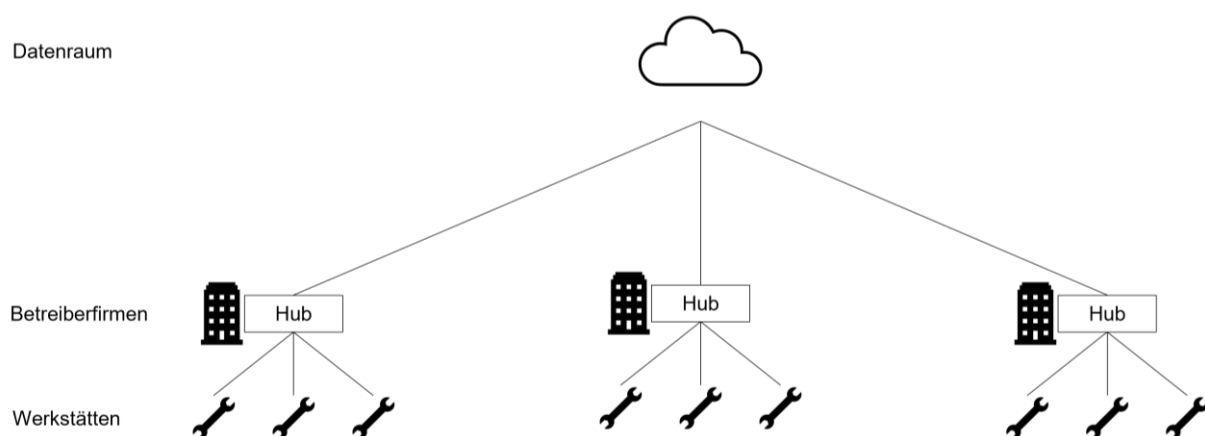


Abbildung 37 - Übersicht der Hub Struktur an Gaia-X angebunden

Im Gegensatz zu früheren Ideen gibt es im AW4.0 Universum nicht *eine Datenpipeline* und *einen Server*. Dieses Grundgerüst erscheint nicht sinnvoll, da die selbstbestimmte Verwaltung und Weitergabe der eigenen Geschäftsdaten essenzielle Anforderungen an das System darstellen.

Weitere Kernaspekte des AW4.0 Hubs sind:

Separation of Concerns

- Messsysteme, mit denen Daten am Fahrzeug generiert werden, sind nicht Teil des Hubs. Die Interfaces des Hubs sind jedoch so gestaltet, dass die Integration verschiedener Messsysteme gewährleistet ist.
- KI (e.g. die State Machine) wird auf dem Hub ausgeführt und nicht auf einem Messgerät, da dies die Integration verschiedener proprietärer Messsysteme deutlich erschweren würde.

Flexible Interaktionsmöglichkeiten

- Über eine Weboberfläche können die Fälle der eigenen Werkstatt eingesehen und verwaltet, sowie Daten unterschiedlicher Messsysteme hochgeladen werden.
- Alternativ können spezialisierter Messsysteme direkt über eine API mit dem Hub kommunizieren.

Flexible physische Ausgestaltung

- On-premise vs. Cloud
- Single-host vs. Verteiltes System

Die folgende Abbildung zeigt eine Architektur Skizze des Hub Prototypen:

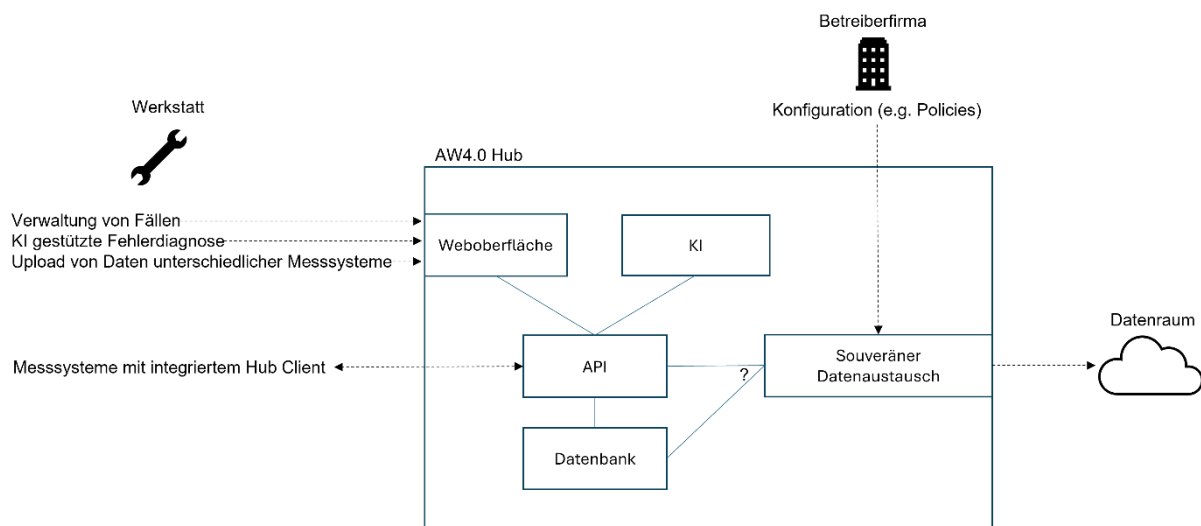


Abbildung 3826 - Architektur Skizze des Hub Prototypen

Integration heterogener Messgeräte

Messsysteme, mit denen am Fahrzeug Daten generiert werden, sind kein direkter Teil des AW4.0 Hubs. Stattdessen sollen Daten auf dem Hub in einheitlichem Format vorliegen, damit die KI basierte Verwertung unabhängig vom Messsystem möglich ist und auch die Datenraumanbindung einfach standardisierbar ist. Hinzu kommt, dass der Prototyp auf einen stationären, serverseitigen Betrieb ausgerichtet ist.

Eine Funktionalität zum Hochladen und Empfangen von Messungen ist daher essenziell, damit Fahrzeugdaten in das System gelangen können. Um diese Funktionalitäten bereitzustellen, sind

zwei prinzipielle Ansätze vorgesehen, die als *Hub-seitige Messsystemintegration* bzw. *Messsystem-seitige Hubintegration* bezeichnet werden können. Diese Ansätze werden im Folgenden anhand von Beispielszenarien beschrieben.

Ansatz 1: Hub-seitige Messsystemintegration

Eine Werkstatt nutzt ein bestimmtes proprietäres Messsystem zum Auslesen von Fehlercodes bzw. zum Oszilloskopieren. Die Messsystemsoftware ermöglicht es, Ergebnisse als Textdatei zu exportieren. Da das Messsystem weit verbreitet ist, beinhaltet die API des AW4.0 Hubs einen Endpunkt, der die exportierten Ergebnisse dieses Messsystems als Upload akzeptiert, in das Hub-interne Datenformat konvertiert und in der Datenbank speichert. Mitarbeitende der Werkstatt können weiterhin die bekannte Software nutzen und die entstehenden Daten über die Weboberfläche des Hubs hochladen, so dass diese zur KI unterstützten Fehlerdiagnose verwertet werden können.

Ansatz 2: Messsystem-seitige Hubintegration

Eine Oszilloskop Hersteller erwartet, dass die Kombination des eigenen Messsystems mit der AW4.0 Fehlerdiagnose möglichst einfach und anwenderfreundlich ist. In die eigene Messsoftware wird daher ein Client integriert, um direkt mit der Hub API zu kommunizieren. In der Benutzeroberfläche des Messsystems können die aktuell zu bearbeitenden Fälle angezeigt werden, sowie die von der KI erstellten „Messaufträge“. Diese Aufträge können dann direkt mit dem Messsystem durchgeführt werden. Die entstandenen Daten werden automatisch an die Hub API geschickt, wo sie zur KI unterstützten Fehlerdiagnose verwertet werden können.

Lizenz

Die Projektpartner haben sich aufgrund der geringen Komplexität und der einfachen Handhabung für die MIT-Lizenz entschieden. Im Gegensatz zu der Apache 2.0-Lizenz müssen bei der MIT-Lizenz keine Patentrechte behandelt werden, was den administrativen Aufwand erheblich reduziert. Zudem bietet die MIT-Lizenz einen klaren Haftungsausschluss der rechtlich absichert, ohne dass eine umfangreiche juristische Dokumentation erstellt werden muss.

Ziel: Offene Schnittstellen zu weiteren Systemen, Plattformen & Lösungen zur Verfügung stellen unter Berücksichtigung von IT-Sicherheit & Datenschutz

Nautilus Connector (Hochschule Osnabrück)

Neben der Nutzung eines Pontus-X Katalogs im Datenraum wurde erfolgreich eine Verbindung zum Werkstatt-Hub hergestellt. Dies wurde durch die Integration des Nautilus Connectors seitens der Hochschule Osnabrück in den Hub erreicht. Da der Hub mit Python arbeitet war es notwendig, einen speziellen Wrapper zu entwickeln. Diese Entwicklung ermöglicht eine nahtlose Anbindung an den projektinternen Pontus-X Katalog.

Nautilus ist eine auf Entwickler ausgerichtete TypeScript-Bibliothek, die speziell entwickelt wurde, um die Arbeit innerhalb der OceanProtocol-Ökosysteme zu vereinfachen und zu optimieren. Bei der Nutzung dieser Ökosysteme gibt es große Herausforderungen in der Datenveröffentlichung, -nutzung und -berechnung. Aufgaben wie die Konfiguration von Metadaten, die Festlegung von Preismodellen und die Verwaltung von Zugriffskontrollen können zeitaufwändig und fehleranfällig sein.

Nautilus adressiert diese Herausforderungen durch eine Reihe von Funktionen, welche die Produktivität und Effizienz steigern. Ein zentrales Merkmal ist das Builder Pattern, das den Konfigurationsprozess für Datenwirtschafts-Assets und -Dienste vereinfacht. Durch die Nutzung von Builder-Klassen wird eine klare und intuitive Schnittstelle bereitgestellt, welche es ermöglicht, die gewünschten Konfigurationen festzulegen. Dies verbessert die Lesbarkeit, Wartbarkeit und Flexibilität und macht den Konfigurationsprozess deklarativer und weniger fehleranfällig.

Darüber hinaus bietet Nautilus vollständige Funktionalität für die Verwaltung von Daten-Assets und deren zugehörigen Diensten. Es ermöglicht die Nutzung von Veröffentlichungs- und Bearbeitungsfunktionen, den Zugriff auf veröffentlichte Daten in bestimmten Datensätzen sowie die Nutzung der Compute-to-Data-Funktionen von OceanProtocol.

Arbeitspaket 4.2 Design & Umsetzung der Plattform

Das Projektziel, die Entwicklung eines intuitiven Frontend für den Autowerkstatt Hub, wurde durch die LMIS AG erfolgreich umgesetzt. Das Frontend dient als Schnittstelle, welche es den Nutzenden ermöglicht, effizient mit den vielfältigen Funktionen des Hubs zu interagieren. Durch die Implementierung als separater Container innerhalb des Docker Compose Stacks, gewährleistet das System eine hohe Modularität und eine nahtlose Integration mit dem Backend. Die Entscheidung, Flutter für die Entwicklung zu nutzen, unterstreicht das Bestreben nach einer einheitlichen Benutzererfahrung über verschiedene Plattformen hinweg. Dieses Open-Source-Framework ermöglicht eine einmalige Codebasis, die sowohl für Webanwendungen als auch für mobile Betriebssysteme wie iOS und Android verwendet werden kann.

Die aktuellen Funktionalitäten im Frontend decken die im Projekt identifizierten Anwendungsfälle ab. Die Benutzenden können Fälle innerhalb ihres Werkstattverbunds einsehen, was eine zentrale Übersicht und Kontrolle ermöglicht. Die KI-gestützten Diagnosefunktion ist vollständig integriert und die vollständige User Journey, die den Prozess einer Diagnose von Anfang bis Ende begleitet, ist umgesetzt worden. Sie bietet den Nutzenden eine transparente Darstellung des Diagnosestatus und leitet sie durch eventuell erforderliche Aktionen. Des Weiteren wurde eine Funktion mit einer weiteren Ansicht zum Bereitstellen von Assets (Daten) im Datenraum implementiert.

Datum	Status	Kunde	Fahrzeug VIN	Werkstatt
19.11.2024	↻	673c578a9c0f2a844b245753	W0L000051T2123456	werkstatt-analyst
20.11.2024	↻	673d9bdfd0575e4e2515f586	W0L000051T2123456	werkstatt-analyst
21.11.2024	↻	673f3f00d0575e4e2515f5b1	W01234567T1279278	werkstatt-analyst
21.11.2024	↻	673f5d11d0575e4e2515f5b7	3VWFE21C04M000001	werkstatt-analyst
21.11.2024	↻	673f5d73d0575e4e2515f5ba	4T1BF1FK7HU123456	werkstatt-analyst
21.11.2024	↻	673f5daad0575e4e2515f5bd	5NPE24AF4FH123456	werkstatt-analyst
21.11.2024	↻	673f5ddb0575e4e2515f5c0	6G2EC57Y08L123456	werkstatt-analyst
22.11.2024	↻	673f3f00d0575e4e2515f5b1	6G2EC57Y09P126542	werkstatt-analyst
25.11.2024	↻	6740803ce78477a3a8a105a7	5NPE24AF4FH372628	werkstatt-analyst

Abbildung 3927 - UI des Werkstatt-Hubs

Ein detailliertes Nutzerhandbuch für die Verwendung der Hub-Benutzeroberfläche befindet sich im Anhang 2.

Arbeitspaket 4.3 Falldaten & KI-Management

Zur Verwaltung der in den Werkstätten anfallenden Daten wurde in Zusammenarbeit von der Hochschule Osnabrück mit der Bo—IT eine auf FastAPI basierende API in Python implementiert welche die Daten über API-Endpunkte entgegen nimmt und dieser in einer MongoDB Dokumentendatenbank speichert. Diese API ermöglicht neben den sogenannten CRUD (Create, Read, Update, Delete) Operationen für die verschiedenen Datenstrukturen auch die Steuerung der KI gestützten Diagnose. Die API-Endpunkte unterteilen sich in die Bereiche:

Workshop:

Dieser Bereich umfasst alle für einen Werkstattmechaniker wichtigen Funktionen. Neben den CRUD-Operationen für Fahrzeuge, Fälle, Symptome, OBD-Fehlercodes und Datenreihen ist es in diesem Bereich auch möglich KI gestützte Diagnosen zu starten, stoppen und diese zu löschen. Dieser Bereich wird durch einen Keycloak Token gesichert und ist den Nutzenden mit der Rolle „Workshop“ vorbehalten, was alle Nutzende mit der Gruppenzuordnung „Mechanics“ entspricht.

Shared:

Dieser Bereich dient dazu um Werkstatt übergreifend Datensätze abzurufen. Dies ist wichtig, wenn die Werkstatt teil eines Werkstatt Verbunds ist. Hierbei hat jede Werkstatt ihren eigenen Bereich und Nutzende mit der Rolle „shared“ haben die Möglichkeit Werkstatt übergreifend Daten aus den unterschiedlichen Werkstattbereichen abzurufen.

Customers:

Dieser Bereich dient zur Verwaltung von Kunden. Eine Verwaltung von Kunden war zu Beginn des Projektes nicht vorgesehen aber wurde im Rahmen des Rollouts in den Werkstätten durch diese gewünscht. An dieser Stelle werden lediglich die CRUD-Operationen für das „customer“ Datenobjekt implementiert. Die Kundendaten wurden Werkstatt übergreifend realisiert und der Zugriff auf diesen Bereich ist den Nutzenden mit der Rolle

„customers“ vorbehalten. In den im Keycloak beispielhaften Gruppen Definitionen haben nur „Mechanics“ diese Rolle. Die Verwendung der Rolle in anderen Gruppen ist dem HUB-Betreiber überlassen und wird an dieser Stelle nicht festgelegt.

Dataspace Assets:

Dieser Bereich dient zum Erstellen von Assets und der Publizierung dieser in einem Gaia-X Datenraum. Als Assets werden an dieser Stelle als Kollektionen von erhobenen Fahrzeugdaten und den dazugehörigen Metadaten verstanden. Zur Erstellung von Assets wird eine Filterbedingung festgelegt und nur Daten, welche diesen Filter-Bedingungen entsprechen werden bei der Erstellung des Assets berücksichtigt. Während der Erstellung eines Assets werden alle Daten von personenbezogenen Daten nach DSGVO bereinigt. Genauer betrifft das die Fahrgestellnummer (VIN). Eine Bündelung von kundenspezifischen Daten ist an dieser Stelle technisch ausgeschlossen, da diese nicht in Erstellung des Assets mit einbezogen werden. Nach erfolgreicher Erstellung eines Assets kann dieses im Datenraum publiziert werden. Als Datenraum wird an dieser Stelle der Gaia-X konforme Datenraum der Firma DeltaDAO verwendet. Die Verbindung mit anderen Gaia-X Datenräumen ist in der Theorie möglich, aber dafür müsste der Dataspace Connector, an dieser Stelle das Nautilus Tool der DeltaDAO gegen einen anderen geeigneten Dataspace Connector ersetzt werden.

Public Dataspace Resource:

Dieser Bereich dient zum Abruf von Assets aus dem HUB. Jedes im Datenraum zum Kauf freigegebene Asset ist mit einem Data-Key und einem API-Key gesichert. Wenn nun die Daten über Pontus-X verkauft und abgerufen werden dient dieser Bereich dazu, dass Pontus-X das verkaufte Asset über den Data-Key und den API-Key vom HUB abrufen und entsprechend an den Käufer weitergeben kann. Es wäre an dieser Stelle auch denkbar, diese Assets außerhalb des HUB in einem anderen Datastore abzulegen, auf den Pontus-X ebenfalls Zugriff hat. Aufgrund datenschutzrechtlicher Bedenken wurde dieser Ansatz aber nicht weiter im Projekt verfolgt.

Falldaten

Die Datenbank der Falldaten speichert die zur KI-Fehlerdiagnose relevanten Daten einer Betreiberfirma in einem standardisierten Schema.

Konzeptionelles Datenschema

Ein Fall (case) repräsentiert genau einen Aufenthalt genau eines Fahrzeugs (vehicle) in genau einer Werkstatt (workshop). Der Fall ist dabei mit genau einem Kunden (customer) assoziiert, beispielsweise der Person oder Firma, die das Fahrzeug in die Werkstatt bringt.

Während des Werkstattaufenthalts des Fahrzeugs werden diagnostische Daten zu dem Fall hinzugefügt. Es werden drei verschiedene Typen von diagnostischen Daten in Betracht gezogen:

- Zeitreihen Daten (timeseries_data)
- OBD-Daten (obd_data)
- Symptome (symptom)

Die untenstehende Abbildung zeigt ein auf diesen Überlegungen basierendes ER-Diagramm:

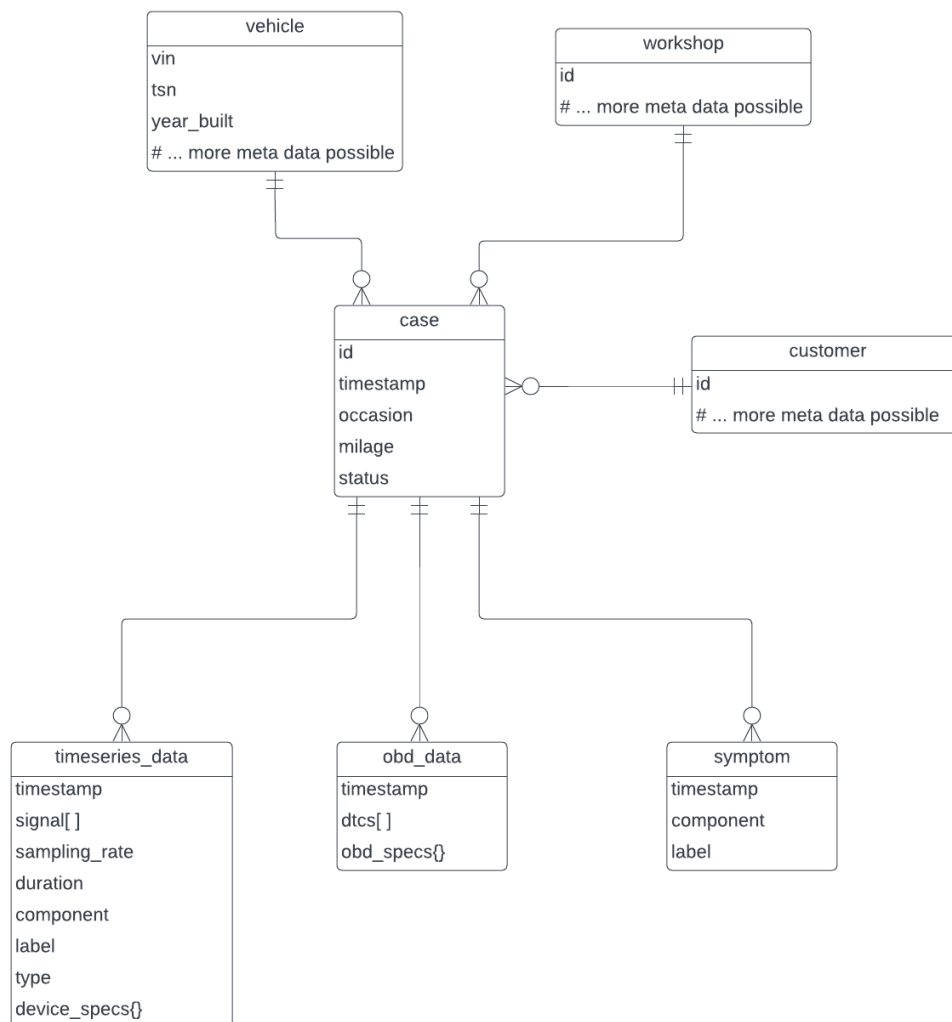


Abbildung 4028 - Datenschema

Details zu den Entitäten

case

Ein Fall repräsentiert genau einen Aufenthalt genau eines Fahrzeugs in genauer einer Werkstatt und ist das zentrale organisierende Objekt im Datenmodell. Ein Fall beinhaltet die folgenden atomaren Attribute:

Attribut	Beschreibung	Beispiele
id	Eindeutiger Identifikator	
timestamp	Zeitpunkt der Erstellung	
occasion	Anlass für den Werkstattaufenthalt	"Service / Routine", "Problem / Defekt"
milage	Aktueller Kilometerstand	
status	Status des Falls	"open", "closed"

Tabelle 2 - Attribute für einen Fall

vehicle

Ein vehicle repräsentiert das Fahrzeug als technisches Objekt. Jede Instanz, identifiziert durch seine VIN, existiert höchstens einmal in der Datenbank. Aktuell werden außerdem die Attribute tsn und Baujahr (*year_built*) verwendet. Theoretisch sind auch weitere technische Attribute denkbar, solange diese sich nicht mit der Zeit ändern, wie beispielsweise *Hersteller*, *Fahrzeugtyp* etc.

Attribute, welche den Zustand des Fahrzeugs zu *einem bestimmten Zeitpunkt* beschreiben, werden nicht der Fahrzeug Entität, sondern einem Fall zugeordnet (Beispiel: Kilometerstand).

workshop

Ein Workshop repräsentiert eine spezifische Werkstatt. Diese Informationen werden nicht für diagnostische oder KI-Anwendungen benötigt. Da ein Hub aber zu einer *Betreiberfirma* gehört, welche wiederum mehrere Werkstätten betreiben könnte, ist es notwendig innerhalb eines Hubs nachzuhalten, welche Fälle zu welcher Werkstatt gehören.

customer

Ein Kunde repräsentiert eine Person / Firma, welche das Fahrzeug in die Werkstatt bringt, üblicherweise den/die Besitzer/in des Fahrzeugs zum Zeitpunkt des Werkstattbesuchs. Auch diese Information wird nicht zu Diagnosezwecken oder für KI-Anwendungen benötigt. Die Kundenentität ist in den aktuellen Prototypen dennoch enthalten, da so z.B. das Durchsuchen von Fällen nach Kunde möglich ist, was die Effizienz in den Werkstätten erhöht.

Mit Blick auf die Gaia-X Storyline im Projekt kann die Berücksichtigung von Kundendaten außerdem nützlich sein, um verschiedene Konzepte zu illustrieren:

- Für die Betreiberfirma ist das Handling von Kundendaten ein normaler Bestandteil des eigenen Geschäftsprozesses. Diese Informationen sind zu entfernen, bevor Daten mit Partnern im AW4.0 Datenraum geteilt werden.
- Transparenz: Der Datensatz ermöglicht die Beantwortung von Kundenanfragen wie "Welche Daten liegen über mich vor?"

timeseries_data

Eine Instanz repräsentiert eine einzelne Zeitreihen Messung, z.B. ein Oszilloskop Signal. Attribute sind in der folgenden Tabelle genauer beschrieben.

Attribut	Beschreibung	Beispiele
timestamp	Zeitpunkt der Erstellung	
signal[]	Das eigentliche Signal, e.g Array mit Floats	
sampling_rate	Abtastrate der Messung in Hz	
duration	Dauer der Messung in Sekunden	
component	Das gemessene Fahrzeugbauteil	"Batterie"

Attribut	Beschreibung	Beispiele
label	Label des Datensatzes	"Regelfall / Unauffällig", "Anomalie / Auffälligkeit"
type	Typ des Datensatzes	"oscillogram", "engine load"
device_specs{}	Technische Spezifikationen des Messgeräts. "{}" bedeutet, dass dies ein nicht-standardisiertes Objekt mit verschiedenen key-value Paaren sein kann, abhängig vom benutzten Messgerät	

Tabelle 3 - Attribute Zeitreihenmessung

obd_data

Eine Instanz repräsentiert das einmalige Auslesen des Fahrzeug Fehlerspeichers. Attribute sind in der folgenden Tabelle genauer beschrieben.

Attribut	Beschreibung	Beispiele
timestamp	Zeitpunkt der Erstellung	
dtcs[]	Array mit DTCs	["P0101", "P0202", "P0303"]
obd_specs{}	Technische Spezifikationen des Messgeräts. "{}" bedeutet, dass dies ein nicht-standardisiertes Objekt mit verschiedenen key-value Paaren sein kann, abhängig vom benutzten Messgerät	

Tabelle 4 - Attribute OBD-Daten

symptom

Eine Instanz repräsentiert das Ergebnis einer (manuellen / ausführlichen / nicht durch die anderen Datentypen abgedeckten) Überprüfung eines spezifischen Bauteils. Attribute sind in der folgenden Tabelle genauer beschrieben.

Attribute	Description	Examples
timestamp	Zeitpunkt der Erstellung	
component	Das untersuchte Fahrzeugbauteil	"Lichtmaschine"
label	Das Ergebnis der Untersuchung	"defekt", "nicht defekt"

Tabelle 5 - Attribute Symptome

Anmerkung zur customer - vehicle Relation

Die *real-world* Relation "besitzt" zwischen Kunde und Fahrzeug wird im hier vorgestellten Datenmodell nicht durch eine direkte Verbindung zwischen customer und vehicle berücksichtigt. Die Begründung ist wie folgt:

Die Relation ist eine *many-to-many* Beziehung. Kunden besitzt im Laufe der Zeit mehrere Fahrzeuge und ein Fahrzeug hat über seine Nutzungsdauer mehrere Besitzer. Sowohl für Kunden als auch für Fahrzeuge sollte jede *real-world* Instanz höchstens einmal in der Hub Datenbank sein, um Inkonsistenzen zu vermeiden, z.B. wenn Meta Daten aktualisiert werden. Des Weiteren ist ein spezifisches (customer, vehicle) Paar nur über eine bestimmte Zeit Teil der "besitzt" Relation. Die *many-to-many* Relation müsste entsprechend durch eine dedizierte Tabelle repräsentiert werden und nicht mittels Fremdschlüsseln die direkt von vehicle zu customer (oder andersherum) verweisen. Die Aufgabe dieser dedizierten Tabelle wird bereits durch die Liste der Fälle abgedeckt.

Integration der KI in den Hub

Die Integration der KI in den Hub wird in Arbeitspaket 2.4 Vertrauenswürdige KI-Umgebung genauer beschrieben.

Arbeitspaket 4.4 Marktplatz & Geschäftsmodellmodellierung

Der Autowerkstatt 4.0 Marktplatz basiert auf Pontus-X und ist ein dezentrales digitales Ökosystem. Die notwendigen Anforderungen an den Markt wurden seitens der LMIS AG aufgenommen und zur Verfügung gestellt. Der Markt ermöglicht Unternehmen und Institutionen, Daten, Software und Infrastrukturdienste innerhalb einer vertrauenswürdigen und transparenten Umgebung zu nutzen, anzubieten und zu monetarisieren. Pontus-X basiert auf den Gaia-X-Prinzipien und der Ocean-Enterprise-Technologie und setzt auf Dezentralisierung und Datensouveränität. Es gibt mehrere Unternehmen und Institutionen, die einen digitalen Marktplatz anbieten, auf der die Teilnehmenden digitale Dienste (Daten, Software und Cloud-Dienste) suchen, entdecken, nutzen und anbieten können. Jeder Raum kann mit Pontus-X verbunden werden, so dass die in einem Raum angebotenen Dienste mit Querverweisen versehen sind. Im Rahmen des Projektes wurde ein dediziertes AW4.0 Portal erstellt, über dem die Akteure die Projektergebnisse im Ökosystem von Pontus-X anbieten und über einen öffentlich zugänglichen Katalog bereitstellen können.

6 results

Filters

Service Type

datasets

algorithms

saas

Access Type

download

compute

Sort

Type

Relevance

Published

Sales

Price

Direction

↑ Ascending

↓ Descending

↓ DOWNLOAD DATASET DAT

P0123

0x4772...8a1d

Daten zu Fehlercode P0123

11 EUROe

Pontus-X Devnet

↓ DOWNLOAD ALGORITHM Pressure

Intake Manifold Pressure Sensor Model

LMIS AG

This deep learning model is designed to detect anomalies in multivariate intake ma...

15

4 sales

Pontus-X Testnet

↓ DOWNLOAD ALGORITHM Lambda

Lambda Sensor Model

LMIS AG

This deep learning model is designed to detect anomalies in multivariate lambda se...

15 EUROe

2 sales

Pontus-X Testnet

SAAS Hub40

Car Repair 4.0 Hub

LMIS AG

Car Repair 4.0 Intelligent Vehicle Diagnostics

Introducing AW 4.0 Intelligent Vehicle Diagn...

10

3 sales

Pontus-X Testnet

↓ DOWNLOAD ALGORITHM AAT

AW 4.0 Battery Test Algorithm

LMIS AG

Battery Test Algorithm

Free

15 sales

Pontus-X Devnet

↓ DOWNLOAD ALGORITHM AAT

AW 4.0 Alternator Test Algorithm

LMIS AG

Alternator Test Algorithm

Free

4 sales

Pontus-X Devnet

Abbildung 4129 - Katalog im AW4.0 Portal

Im Projekt identifizierte Use Cases

Daten anbieten

Werkstätten können fahrzeugspezifische Messdaten und Fehlercodes als Trainingsdaten für KI-Modelle zur Fehlerdiagnose anbieten. Diese Daten sowie entwickelte KI-Modelle werden über einen Datenkatalog mit standardisierten Metadaten angeboten, wobei der eigentliche Datensatz beim Anbieter verbleibt. Der Datenaustausch erfolgt Peer-to-Peer und die Zahlungsabwicklung wird direkt zwischen Anbieter und Käufer geregelt.

Datenaufbereitung-as-a-Service

Die Datenaufbereitung umfasst das Sammeln, Bereinigen, Kennzeichnen und Visualisieren von fahrzeugbezogenen Rohdaten, um diese für KI-Algorithmen nutzbar zu machen. Dieser Prozess ist zeitintensiv und erfordert spezielle Tools, um die Daten in ein einheitliches, lesbares Format zu bringen und für die KI-Modelle zu validieren. Eine Visualisierung hilft dabei, Muster und Anomalien zu erkennen und die Daten verständlich darzustellen.

Zertifizierung von Assets

Die Zertifizierung von KI-Lösungen ist entscheidend, um deren Einsatz und Integration in der Praxis zu fördern und Vertrauen bei den Nutzenden zu schaffen. Standardisierte und transparente Prinzipien sowie branchenspezifische Anforderungen sind notwendig, um die Zertifizierung marktfähig zu machen.

Entwicklung von KI-Modellen für Fahrzeugdiagnose

Im Projekt AW 4.0 wurde die Machbarkeit eines KI-Use Cases für den Automotive Aftermarket validiert, welcher die Fahrzeugdiagnose in Werkstätten durch KI-Modelle unterstützt. Dies soll die Effizienz im Diagnose- und Reparaturprozess steigern, indem automatisierte Empfehlungen für zu

61

prüfenden Bauteile gegeben werden. Über den AW 4.0-Katalog werden KI-Entwicklungsunternehmen, Kfz-Werkstätten und Diagnosesystemanbieter vernetzt, um passende KI-Modelle anbieten und nutzen zu können.

Software-as-a-Service (Hub-Konzept)

Da im Rahmen der im Projekt umgesetzten Workshops als wesentliche Anforderung seitens der Werkstätten identifiziert wurde, dass die Datenaufnahme in die bestehenden Arbeitsprozesse integriert werden muss, kann die im Projekt entwickelte Software-as-a-Service Lösung (AW4.0 Hub) dabei unterstützen, die während der Diagnose aufgenommenen Daten niedrigschwellig in einem Datenraum anbieten zu können. Der Hub ist durch eine Connector-Technologie kompatibel mit dem Pontus-X Datenraum und ermöglicht interessierten Werkstätten die technische Teilnahme an dezentralen Datenräumen, sowie den Austausch von Daten. Für die einfache Integration in die Werkstattprozesse bietet der Hub flexible Hosting-Möglichkeiten, sowie Kompatibilität mit unterschiedlichsten Prüfgeräten.

Der Hub wird hier gehostet: <https://www.pontus-x.eu/> und über die Kontaktaufnahme mit LMIS AG können die Zugangsdaten zu der Testinstanz und Infos zum Testen angefragt werden.

Car Repair 4.0 Hub

Pontus-X Testnet

Owned by LMIS AG
Accessed with Hub4.0

SAAS | Published 3 months ago by LMIS AG

Service Credential
Credential ID match
version: 22.10
last check: less than a minute ago

Car Repair 4.0 Intelligent Vehicle Diagnostics

Introducing AW 4.0 Intelligent Vehicle Diagnostics

AW 4.0 Intelligent Vehicle Diagnostics is a decentralized tool that leverages AI models and advanced data processing technologies to perform vehicle diagnostics efficiently and securely.

10,02 EUROe

SUBSCRIBE FOR 1 WEEK

To use this saas, you will buy 1 Hub4.0 and immediately send it back to the publisher.

I agree to the Terms and Conditions

Access allowed

3 sales

Abbildung 4230 - Darstellung des Hubs in Pontus-X

Der Anschluss an eine bereits bestehende Datenrauminitiative stellt die praktikabelste und sinnvollste Verwertungsstrategie für das Projekt AW4.0 dar. Die sofortige Verfügbarkeit einer erprobten Infrastruktur und eines etablierten Netzwerks reduziert den Ressourcenaufwand und minimiert das Risiko erheblich. Darüber hinaus erleichtert die Nutzung einer vertrauenswürdigen Plattform den Zugang zur Zielgruppe und beschleunigt die Marktreife des Projekts, denn es kann bereits auf eine breite Masse an Teilnehmenden und entsprechend Datenmenge zugegriffen werden, sodass die Balance von Angebot und Nachfrage gegeben ist. Dies ermöglicht eine schnelle Skalierung der Projektergebnisse und stärkt gleichzeitig durch den Eintritt des Automotiv Aftermarktes die bestehenden Initiativen. Während die Gründung einer eigenen Initiative und eine Open-Source-Lösung zwar Vorteile bieten, ist in Summe das Risiko höher und die Skalierung würde erheblichen Aufwand erfordern. Durch den Anschluss an andere Datenrauminitiativen kann zum einen der technische Durchbruch mit Einsatz der KI getestet werden und zum anderem eine Evaluation innerhalb der Domäne erfolgen, wie tragfähig die Teilkomponenten der Partner wie beispielsweise den Hub für einen Übergang zu Produkten sind.

Arbeitspaket 4.5 KI-Verwaltungswerkzeuge

Durch das dezentrale System bedarf es keine zentrale KI-Plattform im Projekt. Zur Darstellung des Handels mit KI-Modellen wurde seitens der LMIS AG während der Projektlaufzeit eine KI-Demo-Firma implementiert, die ein im Datenraum teilnehmendes Unternehmen vollständig modelliert. Die KI-Demo-Firma setzte sich aus dem folgendem Technologie Stack zusammen:

- Azure Cloud: Cloud-Computing Plattform
- Active Directory: User-/Identity-Management
- JupyterHub: Erstellen/Trainieren von KI-Modellen
- Blob Storage: Zwischenbereicherung von Daten/Modellen
- Eclipse Dataspace Connector (EDC): Kommunikation und Datentransfer im Datenraum

Die EDCs der KI-Demo-Firma und einer Autowerkstatt Hub-Instanz registrieren sich gegenseitig in ihren Federated Catalogs. Mit der JupyterHub-Instanz kann die KI-Demo-Firma ein KI-Modell erstellen, trainieren und dieses auf dem Blob Storage speichern. Dieses KI-Modell wird anschließend mit dem EDC als Asset im Autowerkstatt Datenraum angeboten. Der EDC der Hub-Instanz kommuniziert periodisch automatisiert mit dem EDC der KI-Demo-Firma und erfährt so von dem angebotenen Asset. Die Betreiberfirma des Hubs kann das Asset nun erwerben. Exemplarisch wird so das Erstellen, Anbieten und Erwerben von KI-Modellen im Ökosystem der Autowerkstatt vollständig dargestellt. Das für die Interaktion wurde das Frontend von Jupiter Hub genutzt.

Das Onboarding-Verfahren von Gaia-X ist darauf ausgerichtet, eine vertrauenswürdige und sichere Teilnahme im Ökosystem zu gewährleisten, indem es rechtliche und geschäftliche Anforderungen mit den erwarteten Verarbeitungsaktivitäten und deren Risiken in Einklang bringt. Deshalb lässt das Onboarding über ein Clearing House keine fiktiven Firmen zu, weswegen diese KI-Demo-Firma und deren Infrastruktur wieder heruntergefahren und der Connector nicht mehr ausgetauscht wurde. Der grundsätzliche Austausch zwischen zwei EDCs wurde in mehreren Meilensteinmeetings gezeigt, dieser ist aber nicht mehr mit der Gaia-X Architektur kompatibel.

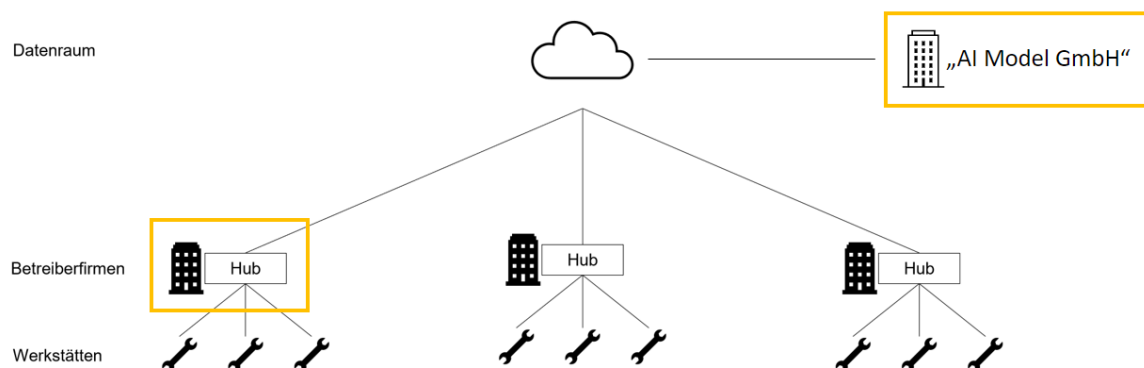


Abbildung 4331 - Datenaustausch zwischen Hub und einer KI-Firma

Arbeitspaket 5: KI-Entwicklung

Das DFKI war im Projekt *Autowerkstatt 4.0* hauptverantwortlich für die Entwicklung der KI-Komponenten zur Fehlerdiagnose. Der Prozess der KI-gestützten Fahrzeugdiagnose erfordert die Integration diverser Module, die im Berichtszeitraum erarbeitet wurden. Zentrale Bestandteile sind etwa die Wissensrepräsentation, beispielsweise zur Messstellen- bzw. Komponentenempfehlung sowie die Klassifizierung dort erfasster Oszilloskop-Signale. Zur Definition des prototypischen Gesamtprozesses des Diagnosesystems sowie zur Integration sämtlicher entwickelter Module wurde eine *State Machine* implementiert¹. Diese regelt unter anderem die Datenverarbeitung zur Erfassung des Fehlerkontextes, z.B. auf der Grundlage von Kundenbeanstandungen, Metadaten, Informationen zur Fahrzeughistorie und On-Board-Diagnoseprotokollen. Darüber hinaus führt sie Nutzende im Sinne eines *Human-in-the-Loop*-Systems durch den gesamten Diagnosevorgang. Die Architektur der *State Machine* ist in 44 (High-Level) und Abbildung 453245 (Low-Level, mit Fokus auf diagnosebezogene Aspekte) zu sehen.

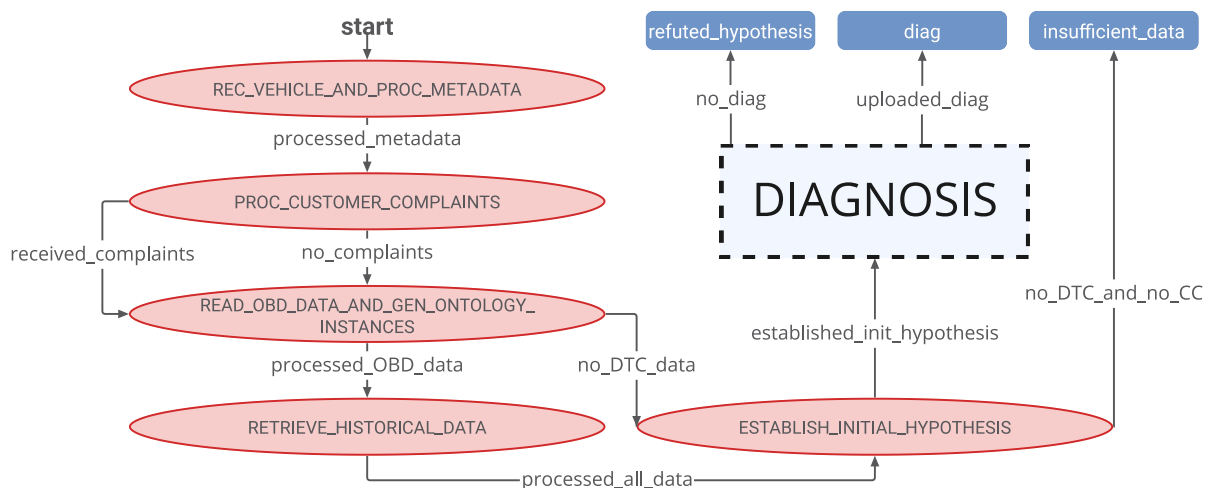


Abbildung 44 - Hierarchische Diagnose-State-Machine (High-Level)

¹ Der Open-Source-Code sowie weitere Informationen sind verfügbar unter:
https://github.com/tbohne/vehicle_diag_smach

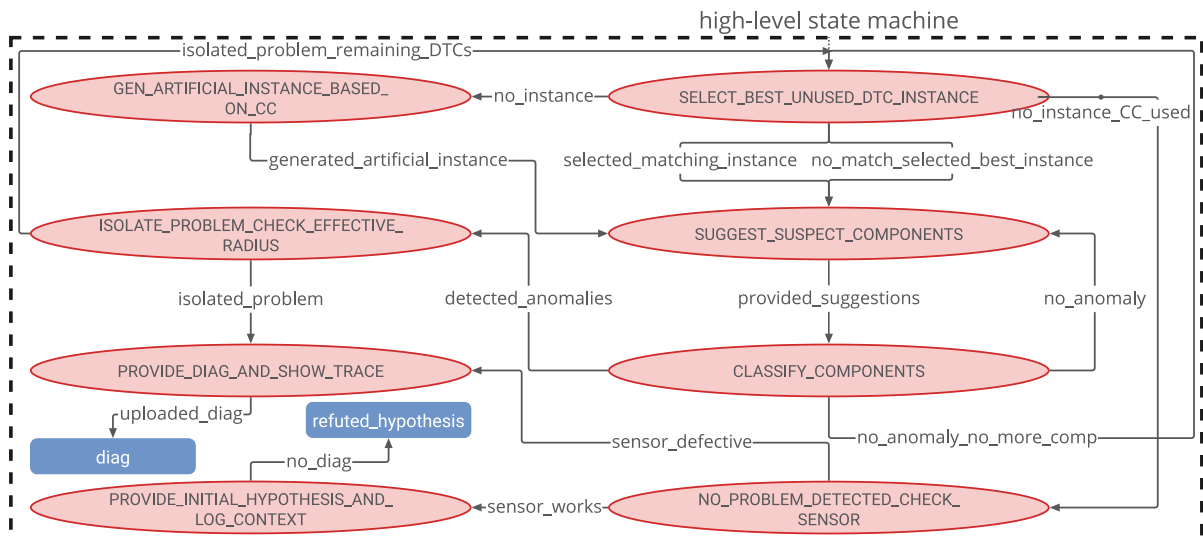


Abbildung 4532 - Eingebettete Diagnose-State-Machine (Low-Level)

Forschungsergebnisse wurden im Tagungsband einer ACM-Konferenz publiziert² und im Rahmen einer Präsentation auf der K-CAP 2023 (*“The Twelfth International Conference on Knowledge Capture”*) in Pensacola, Florida, USA der Öffentlichkeit vorgestellt. Hierbei wurde die im Projekt entwickelte neurosymbolische Architektur im ersten Schritt in generalisierter, domänen-unabhängiger Form vorgestellt (siehe Abbildung 46), und daraufhin anhand des AW4.0-Anwendungsfalls im Detail beschrieben.

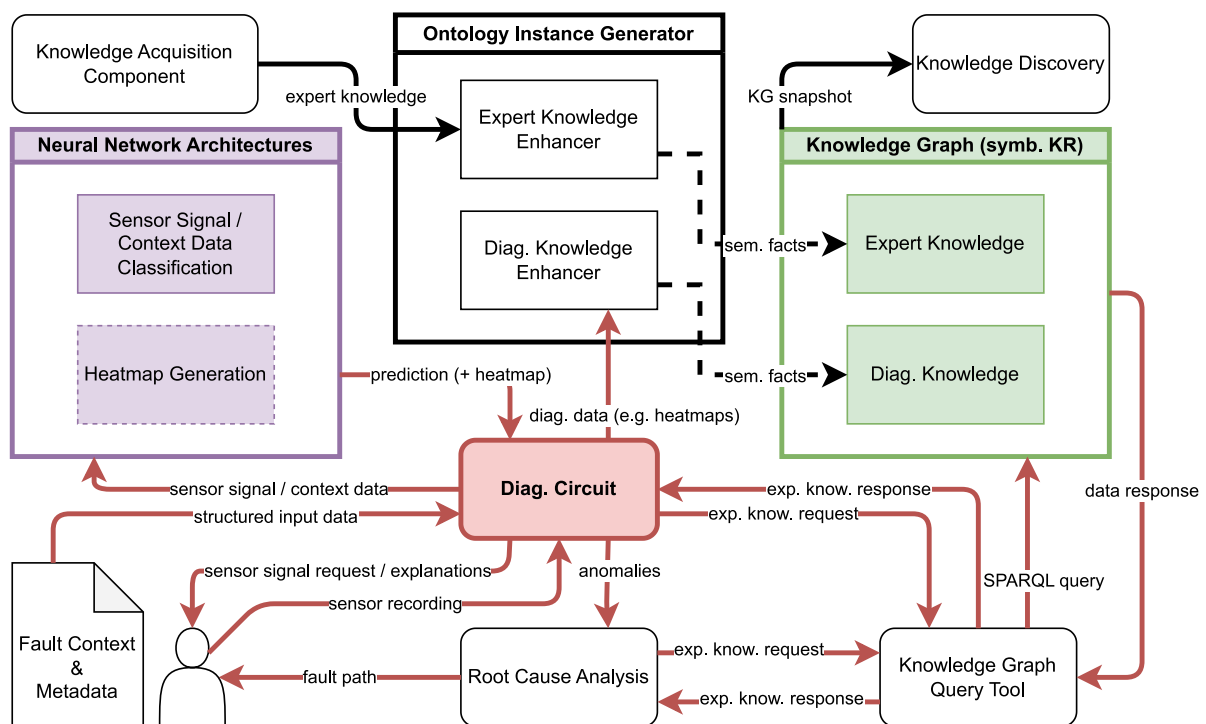


Abbildung 46 - Neurosymbolische Architektur des Diagnosesystems

² <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3587259.3627546>

Eine Erweiterung der Publikation mit dem Titel “*A Domain-Agnostic Neuro-Symbolic Architecture for Multimodal Human-in-the-Loop Anomaly Detection and Complex Fault Diagnosis*”, in welcher das Diagnosesystem in domänen-unabhängiger, generalisierter Form systematisch evaluiert wird, wurde beim Journal *Information Fusion* **Fehler! Textmarke nicht definiert.** eingereicht und befindet sich gegenwärtig im Review-Prozess (Näheres hierzu in AP 5.5).

Zur Veranschaulichung der praktischen Anwendbarkeit des Diagnosesystems wurde ein Demonstrator entwickelt, in welchem ein realer Fehlerfall der Lambdasonde und des Saugrohrdrucksensors betrachtet wird. Anhand dessen wird das Zusammenspiel der verschiedenen Bestandteile des KI-gestützten Diagnosesystems in einem realen Anwendungsszenario demonstriert.

Arbeitspaket 5.1 Datenanalyse & Fehlergruppenauswahl

Im Vordergrund dieses Teil-Arbeitspakets steht die Analyse und Verarbeitung der Messdaten in Zusammenarbeit des DFKI, der LMIS AG, der Technischen Hochschule Georg Agricola und der DEKRA. Hierbei wurden verschiedene erfasste Sensordatensätze hinsichtlich ihrer Eignung für das Training von ML-Modellen geprüft und ML-Methoden ausgewählt, die auf die spezifischen Eigenschaften der jeweiligen Signaltypen abgestimmt sind. Zwecks einer initialen Demonstration der grundsätzlichen Vorgehensweise der Oszillogramm-Klassifizierung wurde 2022 für Batteriemessungen (Spannungsmessung während des Anlassvorgangs) seitens der LMIS AG in Zusammenarbeit mit dem DFKI eine *Change Point*-Detektion entwickelt, um interessante bzw. relevante Abschnitte („*Region of Interest*“ - ROI) aus den Rohdaten zu extrahieren (vgl. Abbildung 47). Diese Abschnitte werden anschließend einem ML-Modell zur Klassifikation übergeben. Ziel der *Change Point*-Detektion ist es, im Projekt als relevant eingestufte Teilsignale innerhalb eines größeren Rohsignals zu identifizieren, um eine präzisere KI-basierte Analyse defekter Bauteile zu ermöglichen.

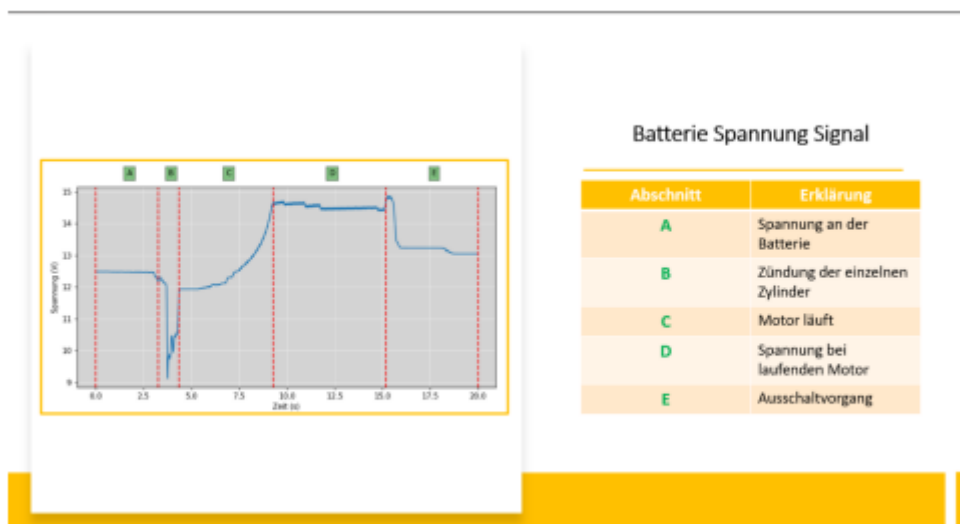


Abbildung 4733 - Visualisierung einer Change Point Detection

Um die Menge der verfügbaren Trainingsdaten der verschiedenen Sensoren zu vergrößern und zu diversifizieren, wurden seitens des DFKI *Data Augmentation*-Methoden eingesetzt. Zu diesem Zweck wurden die Verfahren *Dynamic Time Warping (DTW)*, *Barycenter Averaging (DBA)*, *ShapeDTW* und *ConstrainedDTW* kombiniert sowie zusätzliche Bedingungen an den Matching-

Algorithmus gestellt, mit dem Ziel, durch sinnvollere Zuordnungen von Zeitreihen realistischere synthetische Zeitreihen zu generieren. Beispiele für auf diese Weise generierte synthetische Batteriesignale sind in Abbildung 48 zu sehen.

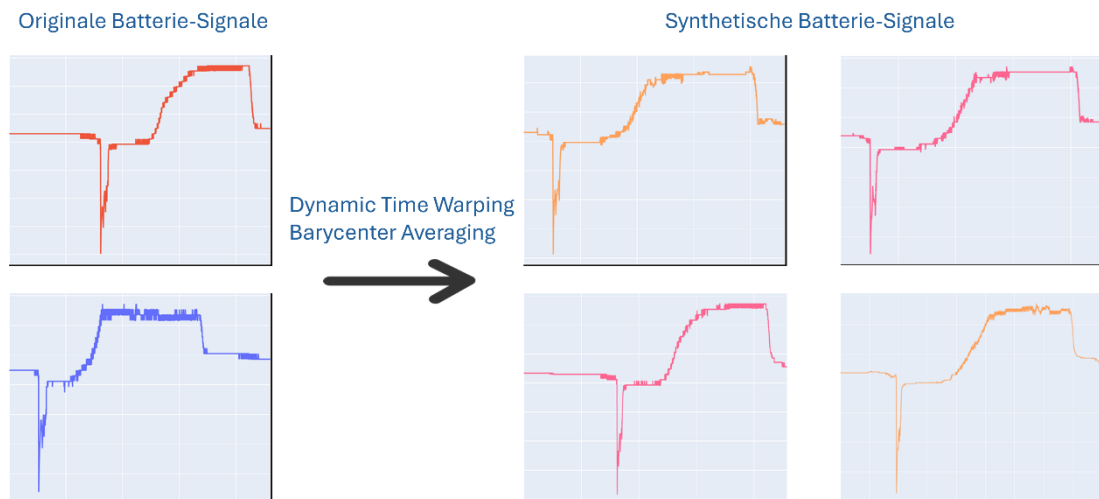


Abbildung 4834 - Durch DBA-Varianten erzeugte synthetische Batteriesignale

Im Jahr 2023 lag der Schwerpunkt der LMIS AG auf der Verbesserung der Robustheit des *Change Point*-Detektions-Algorithmus anhand eines auf diese Weise generierten synthetischen Datensatzes. Ziel ist es gewesen, *Change Points* auch in ungesesehenen und ggf. unter anderen Bedingungen aufgezeichneten Batteriespannungssignalen zuverlässig zu erkennen und damit die Skalierbarkeit auf weitere Signaltypen zu erhöhen. Die meisten Parameter des Algorithmus wurden daher auf relative Werte umgestellt und an *Change Points* verschiedener Basissignale wie Sinus-, Stufen-, Rampen- und Kippschwingungssignalen getestet.

Darüber hinaus wurde neben diesem Ansatz, in dem die gesamte ROI klassifiziert wird, noch ein Alternativansatz verfolgt, in dem durch die *Change Point*-Detektion die ROI in verschiedene Abschnitte („Sub-ROIs“) unterteilt wird. Dafür wurde seitens der LMIS AG eine Extraktion von Patches aus positiven und negativen Signalen für das Clustering umgesetzt. Das Extrahieren von Patches geschieht aus den augmentierten Datensätzen. Positive Signale umfassen 5 Patches, während negative Signale individuell davon abweichen können (vgl. Abbildung 4935).

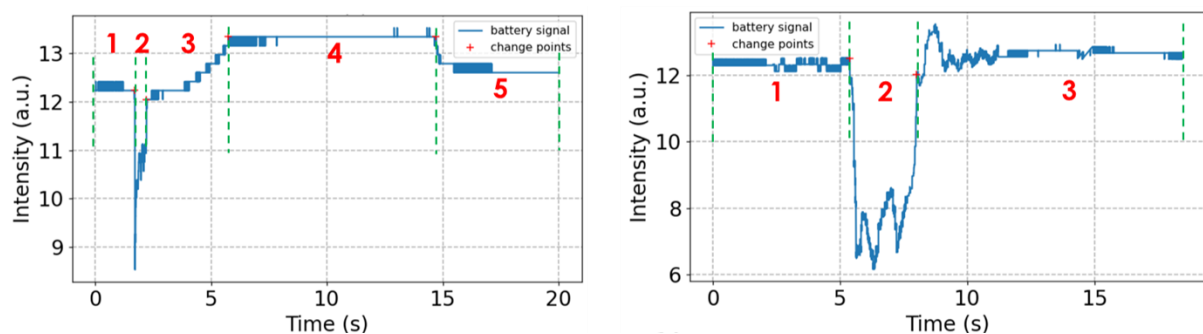


Abbildung 4935 - Extraktion von Patches - links: positives Signal | rechts: negatives Signal

Dieser Ansatz eröffnet die Möglichkeit, zusätzliche ML-Algorithmen anzuwenden, um präzisere Informationen über die Anomalie bereitzustellen, statt lediglich eine Klassifizierung der gesamten ROI vorzunehmen (Näheres in AP 5.4).

Auf diese Weise kann Domänenwissen eingegeben werden, welches mittels des *Knowledge Enhancers* automatisiert in den Wissensgraphen überführt wird, in welchem es im *Resource Description Framework* (RDF) Format gespeichert und auf einem *Apache Jena Fuseki* Server gehostet wird.

Aufnahme von DTC-bezogenem Expertenwissen

Startseite Fahrzeugkomponenten Fahrzeugkomponenten-Sets

DTC: (alternativ bestehenden DTC auswählen und anpassen:)

Weitere DTCs, die erfahrungsgemäß häufig zusammen mit dem angegebenen DTC auftreten:

Fehlerzustand, den der DTC beschreibt:

Symptome, die in Zusammenhang mit dem Fehlerzustand auftreten können:

Ist ein Symptom nicht in der Liste enthalten, fügen Sie es bitte über das Textfeld hinzu:

Liste der fehlerverdächtigen Komponenten: Listen Sie alle Komponenten, die als Ursache infrage kommen, der Reihe nach auf, sodass die Komponenten, die am wahrscheinlichsten die Ursache des Fehlers sind, zuerst genannt werden. Es sollten nur Komponenten angegeben werden, die Teil des Subsystems sind, mit dem dieser DTC in Verbindung steht. Falls Sie eine nicht ursächliche Komponente aus einem anderen Subsystem angeben möchten, die dennoch in der Lage ist, das korrekte Funktionieren einer oder mehrerer Komponenten innerhalb des Subsystems zu verifizieren, definieren Sie ein Fahrzeugkomponenten-Set.

Wenn Sie eine Komponente hinzufügen möchten, die nicht in der Liste enthalten ist, nutzen Sie dafür bitte Formular.

Abbildung 5137 - Web-Interface zur Aufnahme des Expertenwissens

Um das Auftreten von DTCs im elektronischen Steuergerät (ECU) eines Fahrzeugs effizient zu verarbeiten, wurde ein DTC-Parser⁴ entwickelt, der in der Lage ist, sämtliche Ziffern des gelesenen Codes aufzulösen und die daraus resultierenden Fehlerinformationen auszugeben (siehe Abbildung 5238). Der Parser unterstützt derzeit 5090 DTCs aus sämtlichen Kategorien, d.h. Antriebsstrang, Karosserie, Fahrwerk und Nutzernetzwerk, sowohl generisch als auch herstellerspezifisch.

```

$ python dtc_parser/parser.py --code P0112

... parsing P0112 ...
+++++
VEHICLE PART:      powertrain (engine, transmission, and associated accessories)
CODE TYPE:        standardized (SAE) code, aka generic code
VEHICLE SUBSYSTEM: fuel and air metering
FAULT DESCRIPTION: intake air temperature sensor 1 circuit low
+++++

```

Abbildung 5238 - DTC-Parser

Darüber hinaus wurden Bibliotheken entwickelt, die dieses Wissen im Diagnoseprozess über *SPARQL-Queries* abruf- und erweiterbar machen. Als Teil des *Knowledge Enhancers* wurde die automatisierte Aufnahme der Diagnosedaten implementiert.

⁴ Der Open-Source-Code sowie weitere Informationen sind verfügbar unter:

https://github.com/tbohne/dtc_parser

Zusätzlich wurde eine *Knowledge-Snapshot*-Funktion entwickelt, welche das im Wissensgraphen gespeicherte Wissen vollumfänglich abrufen und in menschenlesbarer Form darstellt.

Der Wissensgraph wurde exemplarisch durch von assoziierten Partnern bereitgestelltes Domänenwissen gefüllt, welches für den erarbeiteten Lambdasonden-Demonstrator-Anwendungsfall relevant ist (siehe Abbildung 5339). Hierbei handelt es sich um den DTC *P0172*, welcher der zu überprüfenden Fahrzeugkomponente Lambdasonde zugeordnet ist, welche vier Kanäle umfasst. Die Lambdasonde ist wiederum abhängig (kausale Verknüpfung) vom Saugrohrdrucksensor, welcher ebenfalls vier Kanäle umfasst und in diesem Demonstrator-Beispiel die *Root Cause* darstellt. Das Wissen wird zur Messstellenempfehlung und Modellvorhersage genutzt. Der Demonstrator-Wissensgraph wurde im Austausch mit (assoziierten) Projektpartnern entwickelt und iterativ von diesen validiert.

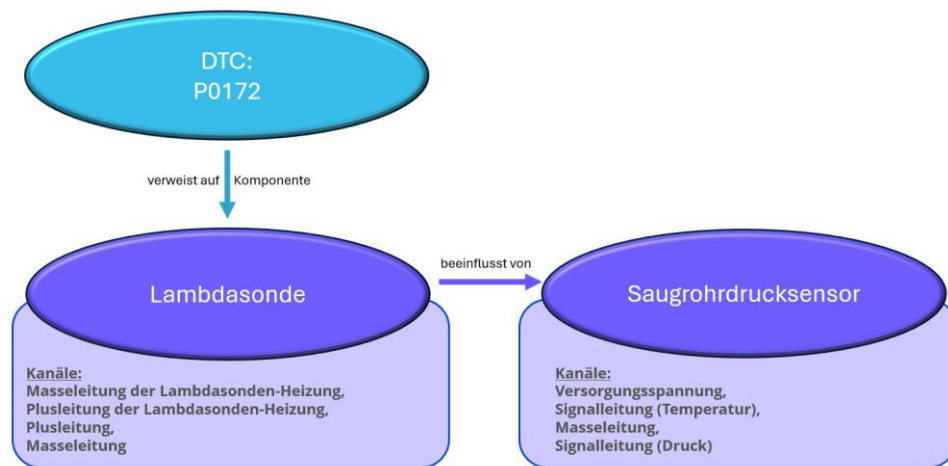


Abbildung 5339 - Für den Demonstrator-Anwendungsfall relevantes Expertenwissen

Zudem wurde eine generalisierte Form der Ontologie definiert, welche die fahrzeugdomänenspezifischen Konzepte ausklammert und somit eine Anwendung des Diagnosesystems in weiteren Domänen ermöglicht.⁵

Arbeitspaket 5.3 Root Cause Analyse

Die im Wissensgraphen hinterlegten Wirkzusammenhänge zwischen den Komponenten im Fahrzeug werden für die *Root Cause Analyse* (RCA) verwendet. Wird eine Anomalie im Sensorsignal einer Komponente gefunden, werden die Komponenten, die sich kausal auf die besagte Komponente auswirken, aus dem Wissensgraphen abgefragt und ebenfalls überprüft. Auf diese Weise wird ein *kausaler Graph* konstruiert (siehe Abbildung 5440). Wird in einer dieser Komponenten eine weitere Anomalie gefunden, wird dieser Prozess rekursiv wiederholt, bis es keine weiteren bekannten Komponenten gibt, welche kausal auf identifizierte Anomalien Einfluss haben. Hieraus ergeben sich ein oder mehrere Fehlerpfade pro Diagnosevorgang (siehe Abbildung 5541). Zudem wird ein erläuternder Bericht generiert, in dem sämtliche Schritte des Diagnoseprozesses, die zur Diagnose der *Root Cause(s)* beitragen, aufgeführt sind. Dies dient vor allem der Einordnung und dem Verständnis der Diagnose durch die Nutzenden. Außerdem wird in der *State Machine* der Sonderfall abgedeckt, welcher auftritt, falls sämtliche überprüften

⁵ Der Open-Source-Code sowie weitere Informationen sind verfügbar unter:

https://github.com/tbohne/nesy_diag_ontology

Komponenten einwandfrei funktionieren. In diesem Fall wird empfohlen, den dem Fehlercode zugrundeliegenden Sensor zu überprüfen.

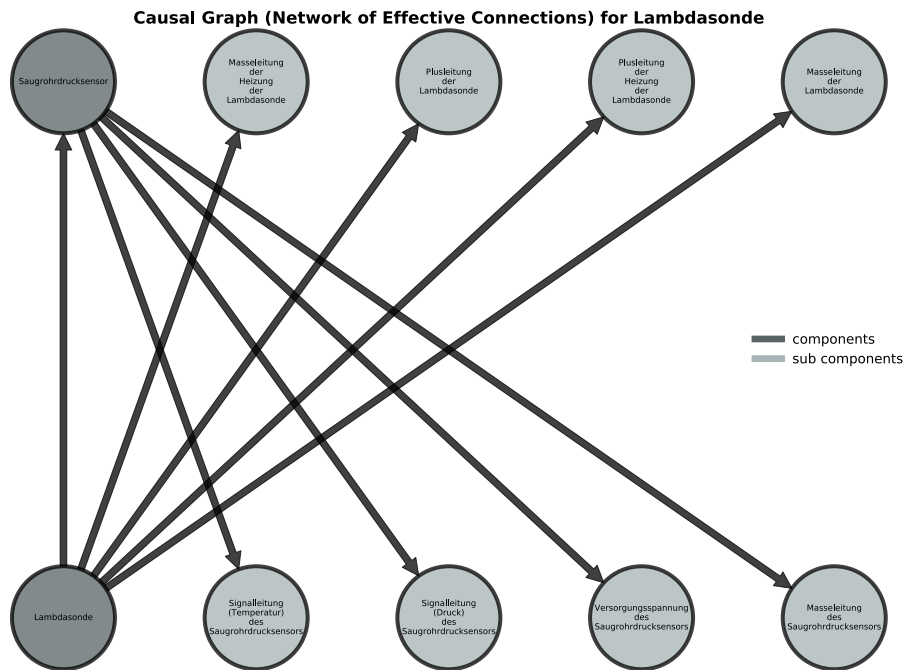


Abbildung 5440 – Initialer kausaler Graph

Jede Komponente zeigt durch einen Pfeil auf jene Komponenten, deren Fehlverhalten sich kausal auf sie auswirken könnte. Zudem zeigt jede Komponente durch Pfeile auf ihre Sub-Komponenten (die ihr zugewiesenen Kanäle; ebenfalls im Sinne einer kausalen Verknüpfung).

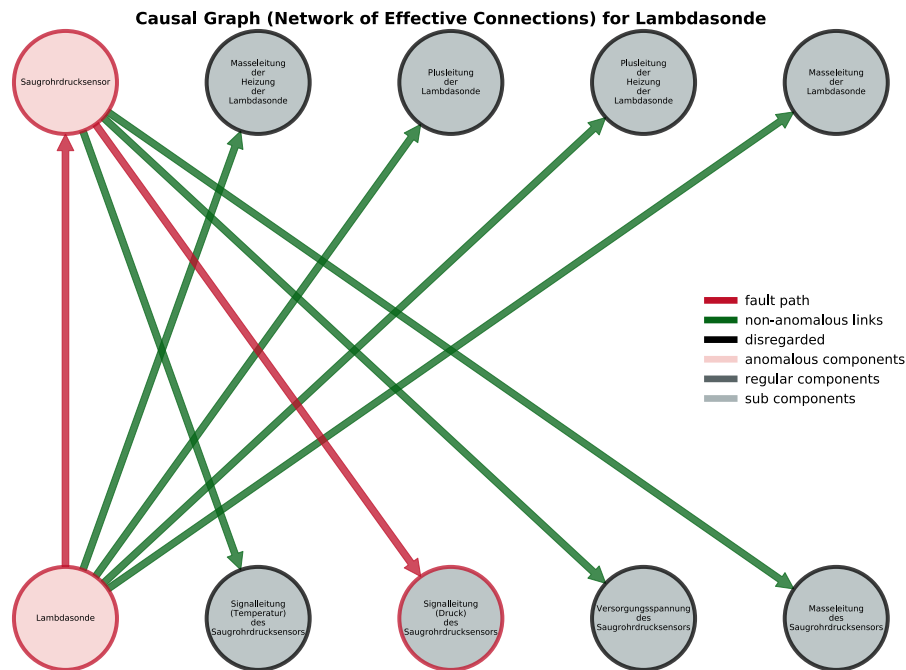


Abbildung 5541 - Kausaler Graph mit hervorgehobenem Fehlerpfad

Der Fehlerpfad verläuft entlang der roten Pfeile, beginnend mit der Root Cause, dem Saugrohrdrucksensor bzw. dessen Sub-Komponente, und überträgt sich auf die Lambdasonde. Eine Untersuchung der Sub-Komponenten des Saugrohrdrucksensors deckt einen Fehler in der Signalleitung (Druck) des Saugrohrdrucksensors auf, was den Fehler spezifiziert. Die grünen Pfeile zeigen Verbindungen zu Komponenten oder Sub-Komponenten an, die überprüft wurden und keine Anomalie aufweisen.

Die Performanz der RCA wurde in Abhängigkeit verschiedener Faktoren evaluiert (siehe AP 5.5).

Mechanismen zur *Knowledge Discovery* sind implementiert: Da sämtliche anfallenden Daten des Diagnoseprozesses in strukturierter Form gespeichert werden, sodass das gemeinsame Auftreten verschiedener Artefakte (DTCs, *Root Causes*, Salienzarten etc.) erfasst wird, lassen sich durch praktische Anwendung des Diagnosesystems weitere, unbekannte Zusammenhänge z.B. zwischen Fehlerbildern und *Root Causes* ableiten. So können anhand der aufgetretenen DTCs und der damit verknüpften Fehlerpfade Wahrscheinlichkeiten ermittelt werden, anhand derer bestimmte zu überprüfende Komponenten, die sich in der Vergangenheit häufig bei Auftreten eines bestimmten DTCs als fehlerhaft herausgestellt haben, priorisiert überprüft werden. Darüber hinaus können auch die XAI-Methoden eine Rolle spielen: So bestehen beispielweise die Batteriemessungen aus fünf semantischen Abschnitten („Sub-ROIs“). Es ist denkbar, dass in großen, in der Praxis erhobenen Datenmengen beispielweise Korrelationen zwischen Fehlercodegruppen und den durch XAI-Methoden als relevant gekennzeichneten Abschnitten im Signal gefunden werden. In dem Fall könnte, sobald die entsprechende Fehlergruppe vorliegt, die Sub-ROI herausgeschnitten und ein speziell für diese Sub-ROI trainiertes Modell angewendet werden. Neben diesen Beispielen sind viele weitere Möglichkeiten der *Knowledge Discovery* angelegt.

Arbeitspaket 5.4 KI-Basiskomponenten

Auf Basis des vorliegenden Fehlerkontextes wird der Wissensgraph dahingehend befragt, welche Komponenten im Fahrzeug zu analysieren sind. Dazu werden, sofern dies bei der jeweiligen Komponente sinnvollerweise möglich ist, Oszilloskop-Messungen durchgeführt, welche anschließend klassifiziert werden. Aufgrund der vergleichsweise unkomplizierten und nicht-invasiven Zugänglichkeit wurde hierfür zu Projektbeginn zunächst die Messung der Batteriespannung während des Anlassvorgangs gewählt.

Hier wurde zur binären Klassifizierung (Anomaliedetektion) der univariaten Zeitreihendaten eine Auswahl zweier Deep-Learning-Modelle (*FCN* und *ResNet*) getroffen. Außerdem wurde ein Framework entwickelt, das den einfachen Austausch von Architekturen und Konfigurationen ermöglicht⁶. Die Datenvorverarbeitung, das Training sowie die Hyperparametersuche wurden ebenfalls implementiert. Zudem wurden verschiedene Ansätze der *eXplainable AI* (XAI) implementiert und verglichen, welche die für die Klassifizierung relevanten Bereiche der Oszilloskop-Signale durch überlagernde Salienzkarten hervorheben (siehe Abbildung 5642).

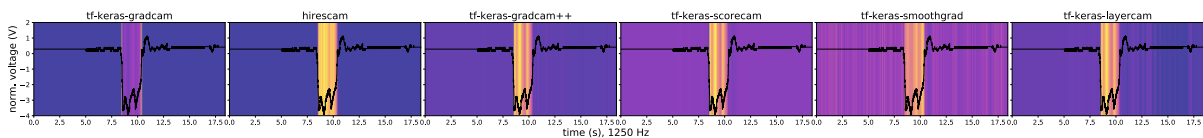


Abbildung 5642 - Vergleich verschiedener Methoden zur Generierung von Salienzkarten

Die entstehenden Heatmaps zeigen ein Spektrum der Relevanz, welches von blau (irrelevant) zu strahlend gelb (sehr relevant) reicht. Die besonders relevanten Abschnitte des Signals für die Klassifizierung sind somit leicht abzulesen.

Ein Parallelansatz zu den genannten CNN-Architekturen umfasst eine automatisierte Feature-Extraktion und -Selektion der Zeitreihendaten sowie die Klassifizierung dieser mithilfe verschiedener Verfahren des maschinellen Lernens (*Random Forest*, *Entscheidungsbaum*, *mehrschichtiges Perzeptron*). Das Repertoire an unterstützten ML-Modellen wurde im Laufe des Projekts erweitert. Aufbauend auf der von der LMIS AG entwickelten *Region of Interest*- (ROI) sowie Sub-ROI-Detektion für Batteriesignale wurden *Clustering*- sowie *k-Nächste-Nachbarn*-Ansätze implementiert. Diese haben zum Ziel, durch Klassifizierung der Teilabschnitte des Signals genauere Informationen über die Anomalie zu liefern als eine Klassifizierung des Gesamtsignals (siehe Abbildung 5743).

⁶ Der Open-Source-Code sowie weitere Informationen sind verfügbar unter:

https://github.com/tbohne/oscillogram_classification

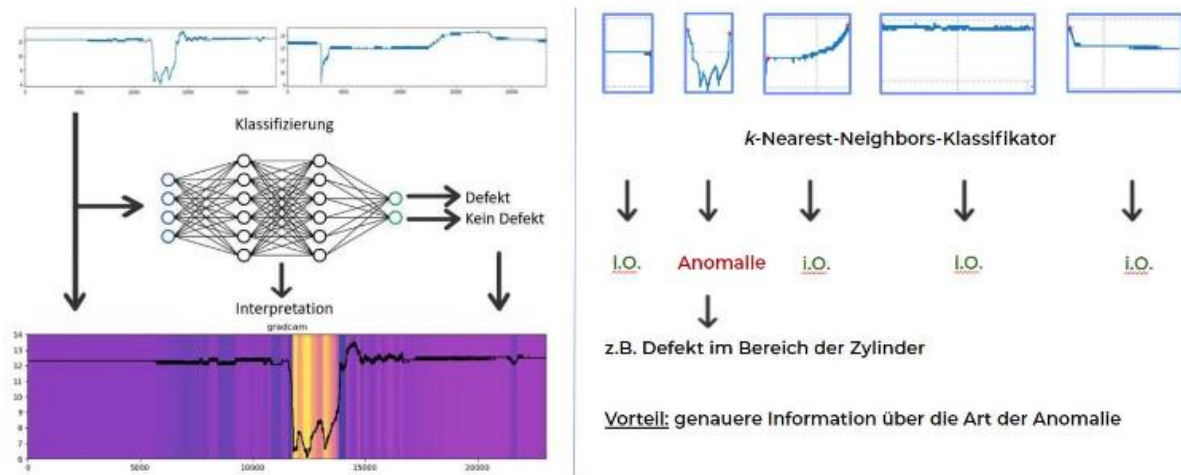


Abbildung 5743 - Klassifizierung des Signals

Links: Klassifizierung von Batteriemessungen mit anschließender Interpretation der Entscheidung anhand von Class Activation Maps. Rechts: Klassifizierung der Sub-ROI-Patches durch k -Nächste-Nachbarn-Klassifikator

Zur Klassifizierung der im Demonstrator-Anwendungsfall behandelten multivariaten Sensorsignale wurden zunächst verschiedene *Neuronale Netzwerk*-Architekturen bezüglich der Genauigkeit auf den Testdaten sowie Möglichkeiten zur Erklärbarkeit verglichen. Die XCM-Architektur hat den Vorteil, dass zwei Arten von Salienzkarten ermittelt werden: *Variable Attribution Maps*, welche die für die Klassifizierung relevanten Abschnitte in den jeweiligen Kanälen zeigen (siehe Abbildung 5844), und *Time Attribution Maps*, welche die zeitlichen Abschnitte angeben, in denen relevante Interaktionen zwischen den verschiedenen Kanälen stattfanden (siehe Abbildung 5945).

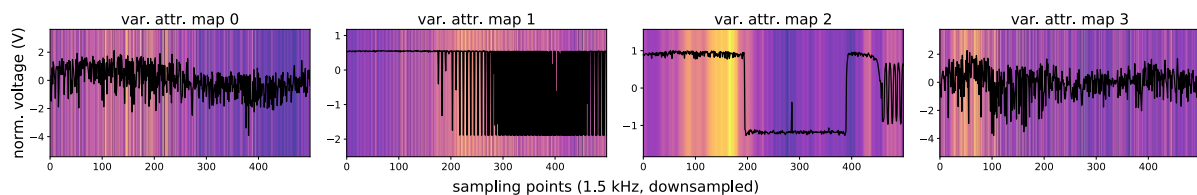


Abbildung 5844 - Variable Attribution Maps der vier Kanäle der Lambdasonde

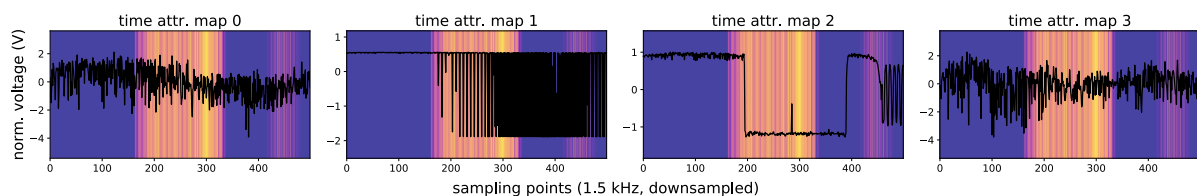


Abbildung 5945 - Time Attribution Maps der vier Kanäle der Lambdasonde

Die für den Demonstrator entwickelten Modelle wurden mit den in einer projektinternen Messwoche aufgezeichneten multivariaten Lambdasonden- und Saugrohrdrucksensor-Daten trainiert. Bei den finalen Modellen handelt es sich um ein XCM-Modell für die Lambdasonde mit einer Genauigkeit von 95,65 % und ein XCM-Modell für den Saugrohrdrucksensor mit einer Genauigkeit von 100 %, jeweils auf einem nicht für das Training verwendeten Test-Datensatz mit Realdaten. Ein *Transformer*-Modell für die Lambdasonde mit 100 % Genauigkeit auf den Test-Daten liegt ebenfalls vor, bietet jedoch nicht die Erklärbarkeits-Vorteile, die das XCM bietet. Für eine robustere Einschätzung der Modell-Güte wurden die Modelle zudem in einer 10-fachen Kreuzvalidierung ausgewertet. Hier erzielten das XCM und das *Transformer*-Modell auf den

Lambdasonden-Daten und das XCM auf den Saugrohrdrucksensor-Daten Genauigkeiten von jeweils 98,26 %, 92,35 % und 100 %, was ein weiteres Argument für die Verwendung des XCM darstellt. Alle genannten Modelle sind mit Standard-Hardware einsetzbar (*Inferencing*). Die XCM-Modelle stehen im AW4.0-Portal innerhalb des Pontus-X-Datenraums zu Demonstrationszwecken zum Kauf bereit.

Im Anschluss an die multivariate Klassifizierung durch das XCM, welche mehrere Kanäle einer Komponente gleichzeitig auswertet und ein Gesamt-Klassifizierungsergebnis liefert, werden die Kanäle einzeln betrachtet und auf Anomalien oder unplausible Signalwerte untersucht, mit dem Ziel, den Fehler weiter einzugrenzen. Hierfür werden regelbasierte Modelle eingesetzt, welche das Signal beispielweise auf Abweichungen eines für den Kanal durch Experten festgelegten Soll-Wertes oder auf größere Sprünge überprüfen.

Arbeitspaket 5.5 KI-Fehlerdiagnose

Es wurde eine *State Machine* (siehe oben) entwickelt, welche den Fahrzeugdiagnosevorgang umsetzt und die verschiedenen KI-Komponenten (Wissensgraph, ML-Modelle, RCA, XAI-Methoden etc.) integriert. Durch Unit-Tests wird die erwartete Funktionsweise des Systems kontinuierlich sichergestellt.

Um die Technische Hochschule Georg Agricola sowie die Hochschule Osnabrück bei der Integration der *State Machine* in den Hub (Näheres hierzu in AP 2.4) zu unterstützen, wurden seitens des DFKI-Interfaces zur *State Machine* entwickelt. Diese ermöglichen u.a. den Zugriff auf trainierte ML-Modelle (*ModelAccessor*) und die für die Diagnose benötigten Daten wie z.B. Sensormessungen (*DataAccessor*), und senden Diagnose-Artefakte wie z.B. Salienzkarten und Fehlerpfade an den Hub (*DataProvider*).

Es wurde zudem eine domänenunabhängige Version der *State Machine* erstellt, welche die fahrzeugdomänenspezifischen Konzepte ausklammert und sich generisch auf iterative, neurosymbolische Diagnoseprobleme anwenden lässt⁷.

Die generalisierte neurosymbolische Architektur des Diagnosesystems wurde systematisch mithilfe von randomisierten, parametrisierten synthetischen Probleminstanzen und korrespondierenden Ground-Truth-Lösungen⁸ evaluiert. Dabei wurden insbesondere die Parameter Anomalieanteil, Komponenten-Konnektivität und Modellgenauigkeit betrachtet, und Zusammenhänge zwischen diesen und der Performanz des Diagnosesystems erforscht, um sinnvolle Wertebereiche der Parameter zu erarbeiten, in welchen mit erfolgreichen Diagnosen zu rechnen ist. Anhand dieser Bedingungen lässt sich a priori feststellen, ob sich die Diagnosesystem-Architektur auf eine jeweilige neue Domäne erfolgreich anwenden lässt, sofern der zu erwartende Anomalieanteil und die Konnektivität in dieser Domäne sowie die zu erwartende Modellgenauigkeit einzuschätzen sind.

⁷ Der Open-Source-Code sowie weitere Informationen sind verfügbar unter:

https://github.com/tbohne/nesy_diag_smach

⁸ Der Open-Source-Code sowie weitere Informationen sind verfügbar unter:

https://github.com/tbohne/nesy_diag_bench

Arbeitspaket 5: Zertifizierung

Im Rahmen des fünften Arbeitspakets hat DEKRA angestrebt eine Zertifizierung für die Datenqualität, als auch für die Modell-Robustheit zu ermöglichen. Da die hierfür relevanten Standards sich noch in Entwicklung befanden, konnte eine Zertifizierung nicht erreicht werden. Es wurde im Rahmen des Projektes jedoch ein Tool entwickelt um die Datenqualität nach ISO 5259, als auch für Modell-Robustheit auf Basis der ISO 24029 für die projektspezifischen Daten zu bewerten. Als Demonstrator wurde zum Abschluss des Projekts eine grafische Nutzeroberfläche gezeigt, um den Nutzenden bei der Konfiguration zu unterstützen. Das Backend des Tools wurde jedoch dafür entwickelt, in der Cloud ohne Bedienoberfläche auszukommen.

Zu Beginn des Projektes wurde eine State-of-the-Art-Analyse durchgeführt, um relevante Ergebnisse in Forschung und Entwicklung im Gebiet der Datenqualitätsanalyse als auch Modell-Robustheit festzuhalten und die Alleinstellung der Projektziele darzulegen. In den Bereichen gab es zur Zeit der Analysen viele Bestrebungen, jedoch bezogen diese sich maßgeblich auf den Bereich Computer Vision beziehungsweise auf tabellarische Eingangsdaten. Der Bereich der Zeitreihendaten mit speziellem Fokus auf Multivariate Einzelmessung konnte aus keiner der gefundenen Quellen identifiziert werden, um Ergebnisse mit fahrzeugspezifischem Kontext darauf aufzubauen. Es wurde daher auf eine komplette Eigenentwicklung gesetzt. Da eine Zertifizierung angestrebt wurde, wurde ein Tool auf Basis der zahlreichen sich in Entwicklung befindlichen ISO-Standards im Bereich KI Qualität entwickelt.

Das entwickelte Werkzeug verfolgt den Ansatz, die Datenqualität mit der Modell-Robustheit zu kombinieren. Dadurch wird das Problem adressiert, akzeptable Werte für die Datenqualität definieren zu können. Zur Bestimmung dieser Akzeptanzwerte wird im Modell-Robustheit-Test ein Wert gezielt manipuliert und die Auswirkungen auf das Modell beobachtet. Auf diese Weise können Schwellenwerte identifiziert werden, ab denen das Modell zu versagen beginnt. Nicht alle Datenqualitätsmerkmale können jedoch auf diese Weise bewertet werden; einige müssen manuell durch Expertenwissen eingetragen werden. Das entwickelte Tool stellt hierfür eine entsprechende Konfigurationsoberfläche zur Verfügung, die darauf ausgelegt ist, Expertenwissen mit automatisierter Bewertung zu kombinieren. Die Funktionsweise dieser Kombination ist in Abbildung 60 dargestellt.

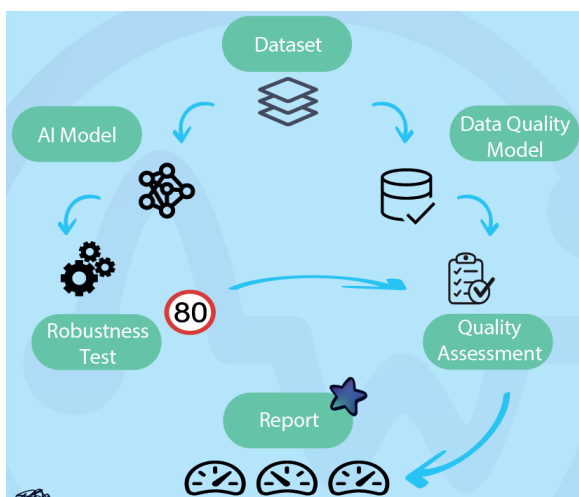


Abbildung 60 -46 Kombiniertes Ansatz von Datenqualitätsbewertung und Modell-Robustheitstest

Zum Prüfen der Datenqualität wird zunächst ein Datenqualitätsmodell erstellt. In diesem ersten Schritt werden die Datencharakteristiken ausgewählt, die für die Eingangsdaten relevant sind. Diese 23 Datenqualitätscharakteristiken bestehen aus mehreren Unteraspekten, die als Datenqualitätsmetriken bezeichnet werden. Der Aufbau dieses Datenqualitätsmodells ist in den Abbildungen 61 und 62 dargestellt. Eine ausführliche Aufschlüsselung der Zusammensetzung des Datenqualitätsmodells findet sich im angehängten Prototyp für einen Datenqualitätsbericht.

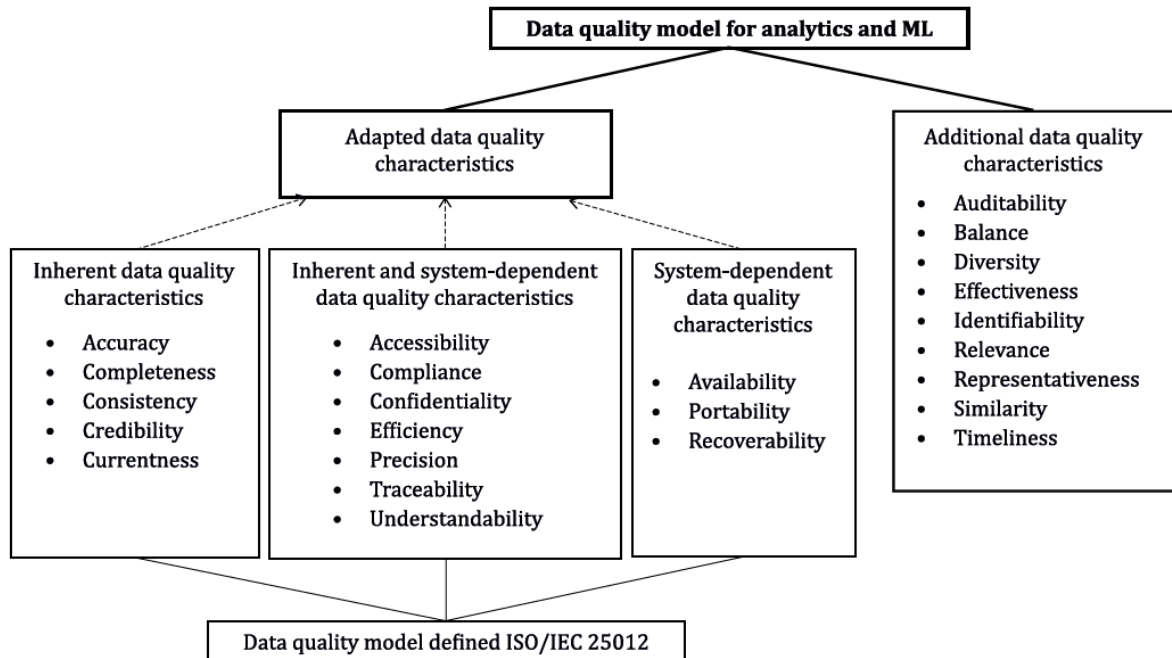


Abbildung 61 -47 Datenqualitätscharakteristiken für Analytik und maschinelles Lernen (ML).

Quelle: ISO/IEC FDIS 5259-2:2024. Künstliche Intelligenz — Datenqualität für Analytik und maschinelles Lernen (ML) — Teil 2: Datenqualitätsmaßnahmen. Internationale Organisation für Normung, 2024

Quality Categories	Quality Characteristic	Quality measure	Rating function	Measurement function
Inherent data quality characteristics	Accuracy	Syntactic data accuracy	$X=A/B$ A= possible values B= number of unique(feature)	$X=A/B$ A= number of data items which have related values syntactically accurate B= number of data items for which syntactic accuracy is required
		Semantic data accuracy		$X=A/B$ A= number of data values semantically accurate B= number of data values for which semantic accuracy is required
		Data accuracy assurance		$X=A/B$ A= number of data items measured for accuracy B= number of data items for which measurement is

Abbildung 62 - 48 Auszug der Aufschlüsselung der Datenqualitätscharakteristiken

Die Hauptaufgabe bei der Bewertung der Datenqualität und der Umsetzung der ISO 5259 bestand darin, für den speziellen Anwendungsfall entsprechende Bewertungsalgorithmen zu entwickeln. Da die ISO 5259 für sämtliche Arten von KI-Modellen sowie Eingangsdaten anwendbar sein muss, war es notwendig, für den domänenspezifischen Use Case alle relevanten Datenqualitätsmetriken zu identifizieren und eine entsprechende Bewertungsfunktion zu entwickeln. Im Rahmen des Projekts wurden sämtliche Qualitätsmerkmale mit ihren Untermetriken auf ihre Anwendbarkeit hin untersucht und eine Bewertungsfunktion dafür entwickelt. Um Schwellenwerte für die Qualitätsmetriken zu bestimmen, werden die zugrunde liegenden Eigenschaften der Eingangsdaten, wie beispielsweise Auflösung oder Samplerate, im Modell-Robustheitstest gezielt manipuliert und die Ergebnisse der Modelle entsprechend analysiert, um herauszufinden, ab wann das Modell versagt. Dadurch können gezielte Schwellenwerte definiert werden, die später einfach auf Edge-Geräten überprüft werden können. Auf diese Weise könnte die Datenqualität bereits direkt bei der Messung identifiziert werden.

Aufgrund verschiedener Verzögerungen im Projekt konnten die endgültigen Modelle erst sehr spät geliefert werden. Daher konnten der Modell-Robustheitstest nicht vollumfänglich für alle Datenqualitätsmerkmale Methoden zur Extraktion von Schwellenwerten entwickelt werden. Dennoch soll die folgende Abbildung 63 zeigen, wie diese evaluiert werden.

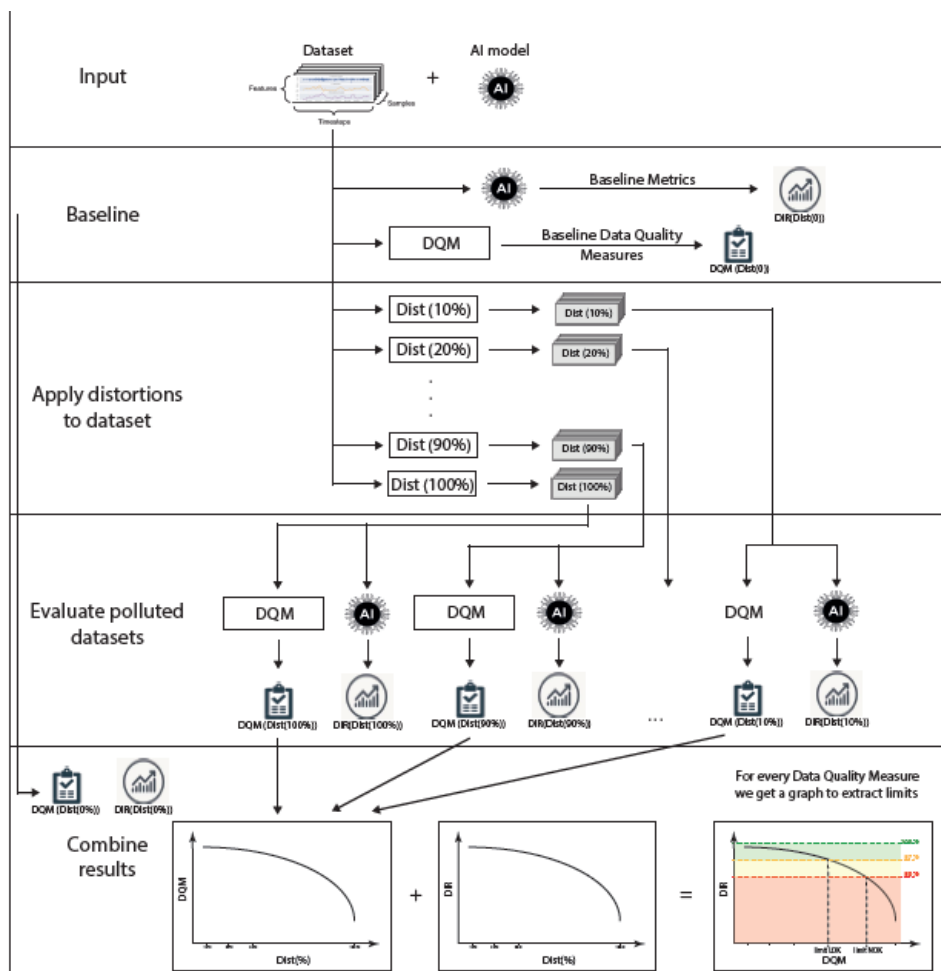


Abbildung 63 -49 Darstellung Modell-Robustheit-Test

Hierzu wird ein fertiges KI-Modell benötigt, das auf den entsprechenden Daten trainiert wurde. Mit diesem Modell und den Basisdaten wird zunächst eine Ausgangssituation für die Ergebnisqualität

ermittelt. Die Bewertung der Ergebnisse kann aus verschiedenen Metriken zusammengesetzt werden. Aufgrund der Zeitknappheit wurde hier auf eine einfache Metrik, die Genauigkeit (Accuracy) des Modells, zurückgegriffen. Diese kann jedoch für eine genauere Anwendung später durch eine komplexere Kombination verschiedener Ergebnis-Metriken ersetzt werden. Im anschließenden iterativen Testprozess wird die sensitive Größe, die im Modell-Robustheitstest gesondert betrachtet wird, iterativ verschlechtert, um eine Verschmutzung der Eingangsdaten zu simulieren und deren Auswirkungen messbar zu machen. So können beispielsweise die Abtastrate, die Auflösung des Sensors, das Rauschen des Signals, Ausreißer und Lücken im Datensatz sowie eine Varianz in der äquidistanten Abtastung manipuliert werden, um hardware-spezifische Probleme, die sich in den Daten widerspiegeln, nachzustellen.

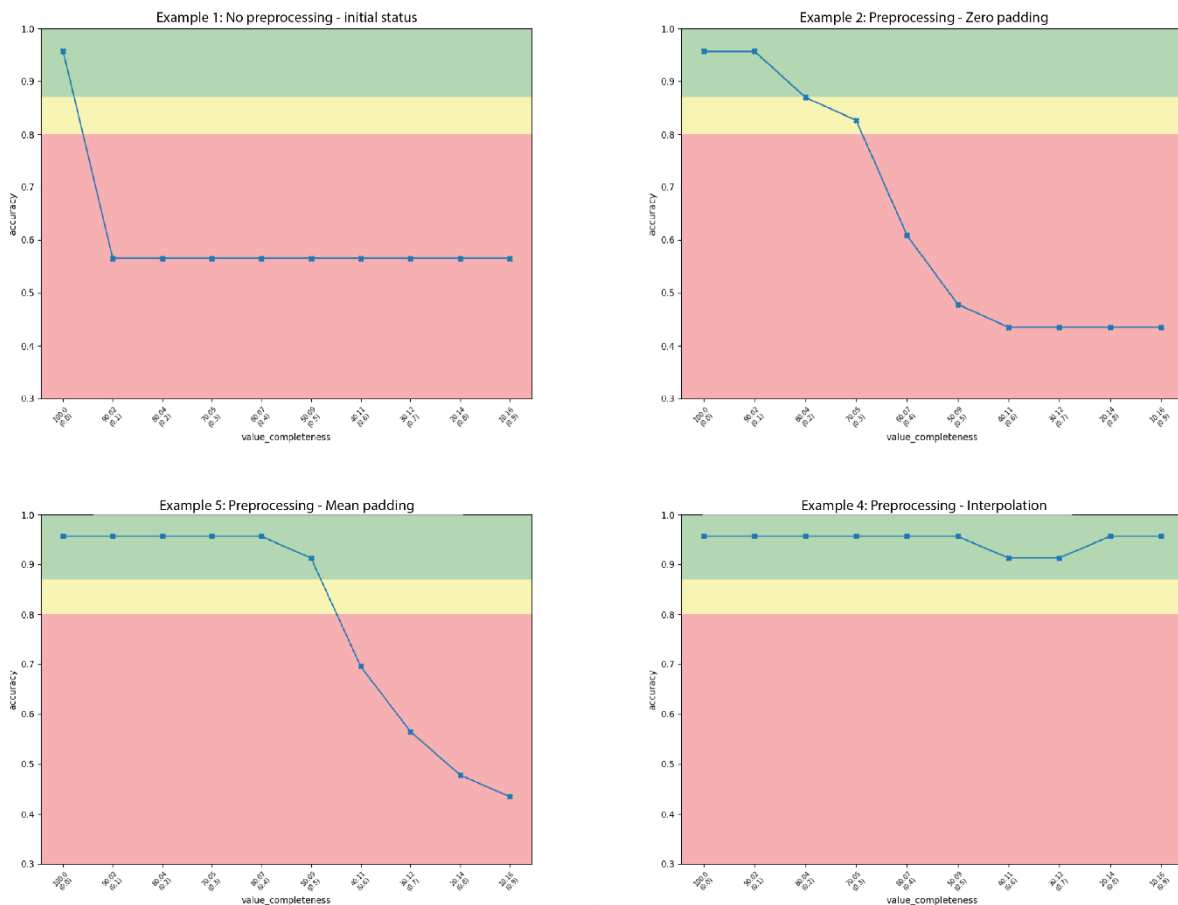


Abbildung 64 - 50 Auswirkung der Datenvorverarbeitung auf die Modell-Robustheit

Abbildung 64 soll die daraus abgeleiteten Einflüsse auf die Ergebnisse des Modells exemplarisch darstellen. Die Abbildung zeigt drei Graphen, die sich nur in der Vorverarbeitung der Daten für den Einsatz des Modells unterscheiden. Die einzelnen Graphen zeigen den Einfluss zufällig hinzugefügter Lücken, die mit fortschreitender X-Achse zunehmen, und die jeweils noch erzielbare Performance des Modells auf der Y-Achse. Hieraus lassen sich bestimmte Probleme im Modell beziehungsweise in der Vorbereitung der Daten für die Verarbeitung im Modell aufzeigen. In Beispiel 1 der gezeigten Abbildung kann gesehen werden, dass jegliche Lücke in den Daten zu einem Totalausfall des Modells führt. Klassische Vorverarbeitungsschritte der Eingangsdaten, welche solche Lücken schließen, wie beispielsweise Zero Padding (2), Mean Padding (3) sowie eine Interpolation der Fehlstellen und ihre direkten Auswirkungen auf die Modell-Robustheit, sind in den folgenden Diagrammen dargestellt. Die hier gezeigten

Auswirkungen des Vorverarbeitungsschritts auf die Modell Robustheit zeigt den Nutzen eine solche Analyse in die KI-Entwicklung mit einzubeziehen.

Das entwickelte Tool extrahiert aus den analysierten Modell-Robustheitsgraphen die Schwellenwerte und erzeugt dadurch ein Set an Anforderungen an die Datenqualität, die einfach zu überprüfen sind. Dies stellt klare Randbedingungen für die Nutzung eines KI-Modells bereit und kann somit die Qualität der erzielbaren Ergebnisse bei der Anwendung von KI sicherstellen.

Als letzter Schritt wird automatisch ein Data Quality Report basierend auf ISO 5259-6 generiert, der die extrahierten Schwellenwerte enthält und den gesamten Datensatz daraufhin überprüft. Basierend auf diesen Ergebnissen können anschließend die Eingangsdaten weiter aufbereitet werden, um das Training des Modells zu optimieren. Abbildung 65 zeigt die verschiedenen Komponenten des Tools, die während des Workflows durchlaufen werden.



Abbildung 65 -51 Workflow des Tools

Mit Blick auf Verwertungsperspektiven sind die entwickelten Methoden und Algorithmen derzeit sehr spezifisch an die Anforderungen des Projekts gekoppelt. Für eine sinnvolle Nutzung, selbst mit Beschränkungen auf Zeitreihendaten mit Einzelmessungen, muss ein Eingangsverarbeitungsschritt automatisiert werden, um die vom Kunden gelieferten Daten automatisch in die interne Form zu überführen. Für zukünftigen Erfolg ist es zudem notwendig, die Methoden auf andere Eingangsdaten-Typen sowie auf verschiedene Arten von Modellen und Frameworks zu erweitern. Auch wenn eine direkte wirtschaftliche Nutzung der Projektergebnisse derzeit nicht möglich ist, können diese als Grundlage dienen, um im Bereich AI Testing and Certification weitere Fortschritte zu erzielen.

Arbeitspaket 6.1 Schulungskonzeption & -materialerstellung

In ersten beiden Jahren des Projekts lag der Fokus der Schulungskonzeption darauf, eine grundlegende Struktur für die Wissensvermittlung zu entwickeln. Dabei wurden Inhalte zur KI-gestützten Diagnose, zur Nutzung der Messsysteme und zur Interpretation von Fahrzeugdaten erarbeitet und als erste Module bereitgestellt. Im vergangenen Jahr wurde die Schulungskonzeption in zwei zentralen Aspekten weiterentwickelt: zum einen durch die Erweiterung der Fehlerfall-Module und die Optimierung der Kommunikation mit den Werkstätten, zum anderen durch die Einführung eines Train-the-Trainer-Konzepts zur Vorbereitung auf den geplanten großen Roll-out.

Die Schulungen wurden um neue Fehlerszenarien ergänzt, insbesondere basierend auf den Messwochen in Bochum. Dabei wurden reale Fahrzeugdaten in die Schulungsmaterialien integriert, unter anderem der Fehlercode P0172 eines Polo N6. Ein wesentlicher

Erkenntnisgewinn aus den bisherigen Schulungsmaßnahmen war, dass Fehlerbeschreibungen aus der Werkstattpraxis oft nicht eindeutig von IT- und KI-Fachleuten interpretiert werden konnten. Um die Kommunikation zwischen den Domänen zu verbessern, wurden gezielte Maßnahmen ergriffen. Dazu zählt die Einführung eines Glossars, das Fachbegriffe aus der Werkstatt- und IT-Welt miteinander verknüpft, sowie die Ergänzung von Erfahrungsberichten aus den Werkstätten, um realistische Anwendungsfälle besser abzubilden. Zudem wurden Schritt-für-Schritt-Anleitungen überarbeitet, um sie stärker an der tatsächlichen Nutzung in den Werkstätten auszurichten. Parallel dazu entwickelte die Technische Hochschule Georg Agricola das Schulungskonzept weiter, indem sie den bisherigen Ansatz der direkten Schulung einzelner Werkstattmitarbeitender zu einem Train-the-Trainer-Konzept ausbaute. Dieser Top-Down-Ansatz wurde im letzten Meilensteinmeeting als zentrale Strategie für den großen Roll-out festgelegt. Ziel ist es, Multiplikatorinnen in den Werkstätten gezielt auszubilden, die das gewonnene Wissen anschließend intern weitergeben. Die Umsetzung dieser Strategie erforderte eine teilweise Neuerstellung der Schulungsmaterialien, um den Fokus gezielt auf die Bedürfnisse der Trainerinnen zu legen. Die Weiterentwicklung der Schulungen konzentrierte sich somit einerseits auf eine praxisnahe Gestaltung durch eine engere Verzahnung mit den Werkstätten und andererseits auf eine nachhaltige Vermittlungsstrategie für den Roll-out durch die Einführung des Train-the-Trainer-Ansatzes.

Arbeitspaket 6.2 Lernplattform & Schulungsangebote

Die Moodle-Lernplattform bildet die zentrale Anlaufstelle für alle Schulungsangebote des Projekts. Alle Schulungsmaterialien sind dort strukturiert und sicher abgelegt, sodass sie jederzeit für die Teilnehmenden abrufbar sind. Neben ihrer Funktion als digitale Lernumgebung dient die Plattform theoretisch auch als Hauptkommunikationsplattform für das Projekt. Die aktuell eingeschriebenen 23 Nutzenden sind mit ihrer aktiven E-Mail-Adresse hinterlegt, wodurch sie automatisch über alle Neuigkeiten informiert werden. Zudem ermöglicht die integrierte Forenfunktion eine niederschwellige und direkte Kommunikation zwischen allen relevanten Stakeholdern des Projekts – von den Bereichen Künstliche Intelligenz und Softwareentwicklung über Hardwareintegration bis hin zur Zertifizierung.

Um die Nutzung der Plattform weiter zu erleichtern, wurde sie als voreingestellte Startseite auf den im Projekt ausgelieferten Notebooks hinterlegt. Dadurch wird sichergestellt, dass die Schulungsinhalte sowie alle relevanten Informationen unmittelbar nach dem Hochfahren des Geräts zugänglich sind. Diese Maßnahme unterstützt eine einheitliche Arbeitsweise im Projekt und trägt dazu bei, dass die Moodle-Plattform als zentrale Schnittstelle für den Wissensaustausch und die interdisziplinäre Zusammenarbeit effektiv genutzt wird.

The screenshot shows a web interface for a learning platform. At the top, there are navigation links: 'Startseite', 'Dashboard', 'Meine Kurse', and 'Links'. A user profile icon is visible in the top right corner. On the left, there is a sidebar menu with various course categories like 'Ankündigungen', 'Bedienung der OmniView...', 'Eine neue Software-Versi...', 'Bedienung der VCDS-Sof...', and '1. Messung | Anlassspan...'. The main content area is titled 'Kooperationen und Projekte' and features a course titled 'AW4Null-Acadamy'. Below the course title, there are tabs for 'Kurs', 'Einstellungen', 'Teilnehmer/innen', 'Bewertungen', 'Berichte', and 'Mehr'. The course description is titled 'Autowerkstatt 4.0 - die Idee' and discusses the development of a robust, small, and easy-to-use car oscilloscope. It mentions that the project was initiated in summer 2016 and involves Auto-Intern GmbH and PROLAB. The video player at the bottom of the screenshot shows a man standing in a workshop next to a car with its hood open, with a whiteboard in the background.

Abbildung 6652 - Ausschnitt aus der Lernplattform



Abbildung 6753 - Exemplarisches Erklärvideo auf der Plattform

Arbeitspaket 6.3 Rollout & Feedback

Ziel dieses Teil-Arbeitspaketes ist es gewesen, die im Projekt Autowerkstatt 4.0 erzielten Ergebnisse, wie die entwickelte Hardware und das Messsystem sowie die KI-gestützte Diagnose in die Anwendung zu bringen, um Feedback aus der Werkstattbranche zu bekommen und auf Basis dessen die Fortschrittssicherung durch die Umsetzung des Feedbacks zu gewährleisten. Für das Feedback wurde eine Plattform zur Sammlung des aus den Werkstätten kommende Feedbackstroms via Internet und Telefon, sowie Besuche in den Werkstätten geplant. Eine Unterstützung bei der zuverlässigen Versorgung der Werkstätten mit allen notwendigen Schulungen und Diagnosegeräten während des Rollouts sollte sichergestellt werden.

Kleiner Rollout

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurde im September und Oktober 2023 ein kleiner Rollout durchgeführt. Dabei konnte die Technische Hochschule Georg Agricola in enger Zusammenarbeit mit Auto Intern insgesamt 20 Werkstätten aus der ganzen Bundesrepublik gewinnen, die sich

durch Kaltakquise und Workshops zur Teilnahme bereit erklärten und durch die mit der erforderlichen Messhardware ausgestattet wurden. Ziel in diesem Rollout ist es gewesen, das neue Messequipment kennenzulernen und Messungen der Batteriespannung beim Anlassvorgang aufzunehmen, mit diesen im Rahmen von Arbeitspaket 5.1 weitergeforscht werden konnte. Die Rückmeldungen aus diesem Rollout liefern wertvolle Erkenntnisse für das Projekt und unterstützen die Konsortialpartner bei der Zusammenarbeit mit den Werkstätten. Diese warten zunächst die Herausforderungen und das Feedback aus dem kleinen Rollout ab, bevor sie weitere Schritte unternehmen, wodurch ein wesentlicher Beitrag zum Projekterfolg geleistet wird.



Abbildung 6854 - Standortkarte der belieferten Werkstätten im kleinen Rollout

Zweiter Rollout

Im Rahmen des zweiten Rollouts im Juli 2024 konnten 11 weitere Werkstätten durch die Technische Hochschule Georg Agricola in enger Zusammenarbeit mit dem eco-Verband und der LMIS AG identifiziert und mit einer Messhardware ausgestattet werden. Für diesen Rollout wurden die teilnehmenden Werkstätten befähigt, die im Projekt entwickelte Infrastruktur und Hardware für die Datenaufnahme mit vereinfachten Use Cases testen und evaluieren zu können. Hierfür wurde den teilnehmen Werkstätten ein Mess-Kit, bestehend aus einem VCDS- Messgerät, einem Mess-Laptop mit entsprechender Messsoftware, einem USB-Hub und 4 der im Projekt entwickelten OmnAlscopen zur Verfügung gestellt. (siehe Abbildung 69)

technischen Durchstich wurden über im Arbeitspaket 2.5 dargestellten Messwochen in Bochum generiert. Das OmnAlscope sowie die Messsystemsoftware konnten durch den Rollout bereits getestet und wertvolles Feedback für die Verstetigungsphase gesammelt werden.

Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit

Wissenschaftlicher Nutzen und Verwertung

Das DFKI als gemeinnützige Forschungseinrichtung, wie auch die Hochschule Osnabrück und die Technische Hochschule Georg Agricola verfolgen zunächst die wissenschaftliche Verbreitung der Ergebnisse und die Stärkung ihrer eigenen Kompetenzprofile.

Die im Rahmen der Projektlaufzeit erzielten Ergebnisse der Technische Hochschule Georg Agricola, der HSOS und der LMIS AG zur technischen Implementierung des Hubs werden nach Projektende Open Source unter einer MIT Lizenz zur Verfügung gestellt und ermöglichen den Forschungspartnern und weiteren Forschungseinrichtungen, auf die entstandene Ergebnisse zugreifen zu können und so die Weiterentwicklung der im Projekt erzielten Ergebnisse in der Mobilitätsbranche bzw. im Automotive Aftermarket bei Bedarf weitreichend zu ermöglichen.

Der eco-Verband wird die Ergebnisse von Autowerkstatt 4.0 im Rahmen seiner Stakeholder und Interessenten Gruppe die im Projekt erarbeiteten Ansätze weiter vorantreiben und die Community stärken. Über die Kompetenzgruppe Mobility beim Projektpartner eco-Verband kann der Hub ebenfalls im Netzwerk der Mobilitätsbranche bekanntgemacht werden, die über den Use Case der Autowerkstatt hinaus weitere relevante Use Cases für die Branche mithilfe eines Datenaustausch über den Autowerkstatt 4.0 Hub über Pontus-X identifizieren und somit der Branche weitere Perspektiven aufzeigen können. So kann die Entwicklung von Geschäftsmodellen für weitere Anwendungsfälle in der Automobilbranche unterstützt und weitere Anwendungspartner für eine mögliche Weiterentwicklung der Ergebnisse gewonnen werden.

Sämtliche im Zuge des Projekts vom DFKI entwickelten Module wurden als Open-Source-Software veröffentlicht und können damit öffentlich genutzt und weiterentwickelt werden:

- https://github.com/tbohne/vehicle_diag_smach
- https://github.com/tbohne/obd_ontology
- https://github.com/tbohne/oscillogram_classification
- https://github.com/tbohne/dtc_parser

Das DFKI plant, auf Basis der AW4.0-Ergebnisse für die anwendungsorientierte Forschung mit einschlägigen Projektpartnern aus Wirtschaft und Wissenschaft mittel- und langfristig nationale und europäische Forschungsprojekte zu definieren und zu akquirieren. Das DFKI versteht zudem Ausbildung wissenschaftlichen Nachwuchses auf allen Ebenen der Qualifikation als Teil seiner Arbeit. In diesem Sinne ist es Teil des wissenschaftlichen Verwertungskonzepts, in Kooperation mit den beteiligten Universitäts- und Hochschulpartnern Projektergebnisse in akademische Arbeiten der beteiligten Personen auf ihren jeweiligen Qualifikationsstufen zu überführen. Das DFKI rechnet aus dem Teilvorhaben wie aus dem Verbundprojekt AW4.0 insgesamt mit Ergebnissen, die in anschließenden Grundlagen- bzw. Anwendungsprojekten in Verbänden aus

Wissenschaft und Wirtschaft, wie auch in Wirtschaftskooperationen einsetzbar sind. Die zentralen FE-Themen im Teilvorhaben des DFKI haben das Potenzial in künftigen nationalen und europäischen Verbundprojekten vertieft zu werden. Das DFKI wird dies im Anschluss an das Projekt *AW4.0* aktiv vorantreiben.

Die Hochschule Osnabrück konnte mit der Umsetzung des Hubs, für eine bestimmte Domäne ein Proof of Concept erzielen. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen soll der interdisziplinäre und praxisnahe Forschungsanspruch der Hochschule angewendet werden, indem die identifizierten Methoden zum Aufbau Gaia-X konformer Datenräume weiterverwendet werden. So sollen die wissenschaftlichen Erkenntnisse genutzt werden, um die Forschung der Hochschule Osnabrück gezielt voranzutreiben. Dabei werden Kernthemengebiete wie die Agrartechnologie zukünftig mit den durch das Projekt neu erstellten State of the art Ansätzen unterstützt.

Die Technische Hochschule Georg Agricola (THGA) wird einige Erkenntnisse aus dem Projekt Autowerkstatt 4.0 in dem Folgeprojekt IGEL weiterverarbeiten. (Fördermaßnahme: Forschung an HAW | Förderbereich: Richtlinie HAW – ForschungsPraxis) Das Projekt IGEL – Informationsgestützte Generierung und Entwicklung von Leiterplatten zielt auf die Entwicklung einer Plattform ab, die durch die Kombination von Ontologien, Wissensgraphen und der Retrieval-Augmented-Generation (RAG) den Designprozess von Leiterplatten automatisiert und optimiert. Ziel ist es, fragmentiertes und multimodales Wissen strukturiert nutzbar zu machen und dadurch die Effizienz und Präzision in der Entwicklungsphase zu steigern.

Das Folgeprojekt setzt auf die Erkenntnisse von Gaia-X und Ontologien auf, denn ein zentraler Bestandteil des Projekts ist die Integration in einen Gaia-X-konformen Datenraum, der Datensicherheit, Transparenz und Interoperabilität gewährleistet. Die entwickelte Plattform erlaubt es, erste Designvorschläge auf Basis komplexer Datenquellen automatisiert zu generieren und so die Start-of-Production (SOP)-Phase signifikant zu verkürzen. Die Open-Source-Natur des Projekts gewährleistet eine langfristige Nachnutzbarkeit und Weiterentwicklung, während die entwickelte Datenverarbeitungspipeline flexibel auf andere Anwendungsbereiche übertragbar ist. IGEL bietet eine innovative Lösung zur Digitalisierung und Automatisierung in der Leiterplattenentwicklung und setzt neue Maßstäbe für die Verknüpfung von KI und Wissensmanagement.

Wirtschaftlicher Nutzen und Verwertung

Im Zusammenhang mit der geplanten wirtschaftlichen Nutzung und dem Betrieb des Autowerkstatt 4.0 Hubs wurden frühzeitig Fragen zur möglichen Nutzung und Rollenverteilung diskutiert.

Da im Rahmen der Verstetigung validiert wurde, dass eine Skalierung der Ergebnisse über bestehenden Datenrauminitiativen erfolgsversprechender ist, bleibt die LMIS AG ebenfalls als KI-Spezialist noch bis Ende 2025 über Gaia-X onboardet im Pontus-X mit dem Hub als Software-as-a-Service Angebot bestehen. Dafür wird eine Demo Version des AW4.0 Hubs gehostet und bleibt so im Jahr 2025 noch im Pontus-X Katalog bestehen, mit der Möglichkeit, Kontakt für einen Demozugang aufzunehmen und perspektivische Weiterentwicklungsaufträge zu besprechen. So stehen die Projektergebnisse auch neben dem Open Sources Angebot in der Community nach Projektende zur Verfügung.

Als Projektergebnisse mit unmittelbarem wirtschaftlichem Verwertungspotenzial realisierte Autowerkstatt 4.0, die Hardware spezifischen Geräte, von denen unter anderem speziell das USB-Oszilloskop OmnAIScope, sowie der entwickelte USB-Hub im Jahr 2025 in den Markt eingeführt werden. Die entwickelte Software kann damit auch noch in den nächsten Jahren von den Werkstätten in Kombination mit den entwickelten Hardwaregeräten genutzt werden. Die Software steht zudem OpenSource unter der MIT-Lizenz zur Verfügung. Hierdurch soll es auch KMUs, insbesondere den freien Werkstätten, ermöglicht werden direkte, praktische, und einfache Datenanalyse zu betreiben. In Kooperation mit mehreren Schulen wird des Weiteren angestrebt, dass OmnAIScope auch als Lehrmittel in Schulen einzusetzen.

Die Weiterentwicklung der E-Feldsonde wird angestrebt mit möglicher Markteinführung 2027.

Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die geleistete Arbeit entspricht den im Projektantrag vorgestellten Vorhaben. Die durchgeführten Arbeiten hätten ohne eine Förderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) nicht durchgeführt werden können. Die erzielten Ergebnisse des Projekts rechtfertigen diese Förderung.

Zusammenarbeit und Fortschritte bei anderen Stellen

Wie bereits im Kapitel zur Ausgangssituation beschrieben, ist Autowerkstatt parallel zur technischen Basis bei GAIA-X entwickelt worden. Dementsprechend wurde der Fortschritt bei der Umsetzung der **GXFS**, welches das technische Fundament von GAIA-X bilden sollten kontinuierlich gemonitort und durch die Gaia-X Mitgliedschaft des Konsortialführers, die Teilnahme an diversen Arbeitsgruppen im Gaia-X Kontext und an den in Arbeitspaket 1.5 dargestellten Technischen Workshops ein kontinuierlicher Informationsfluss ins Konsortium sichergestellt. Die GXFS wurden in einer ersten Version etwa nach dem ersten Jahr der Projektlaufzeit veröffentlicht. Es war jedoch nicht möglich direkt auf die GXFS aufzusetzen, da sie noch nicht die benötigte Stabilität besaßen, wie es für ein Projekt mit der Größenordnung von Autowerkstatt 4.0 gefordert wird.

Wie bereits erwähnt ist die Autowerkstatt 4.0 auf Basis der geänderten Nebenbestimmungen entwickelt worden, welche die Voraussetzungen vorgibt: *„Die Funktionalität der entwickelten Data Spaces und/oder Smart Services ist am Ende der Projektlaufzeit durch einen Demonstrator nachzuweisen. Der Verbund muss die Gaia-X Konformität seiner Data Spaces und/oder Smart Services auf Basis des "Architecture Document Version 23.10" oder einer späteren Version nachweisen (z.B. durch eine Zertifizierung über ein Gaia-X Clearinghouse).*

Aus diesem Grund hat das Konsortium rechtzeitig den Anschluss an eine bestehende Datenrauminitiative realisiert und so den Demonstrator (Angebot der Daten auf dem Marktplatz) als auch die Gaia-X Konformität durch das Onboarding mit Delta Dao sichergestellt.

Pontus-X ist eine dezentrale Datenmarktplattform, die den sicheren und effizienten Austausch von Daten zwischen Unternehmen und Organisationen ermöglicht, insbesondere in der Industrie und Forschung. Delta DAO spielt dabei eine zentrale Rolle als Entwickler und Betreiber der Plattform, sowie bei der Sicherstellung und Bescheinigung der Gaia-X Konformität. Insbesondere

im letzten Projekthalbjahr wurde die Zusammenarbeit intensiviert und die Gaia-X Konformität entsprechend sichergestellt. Der Autowerkstatt 4.0 Hub bleibt über das Projektende hinaus auf dem Marktplatz Pontus-X bestehen.

Der **Mobility Data Space** (MDS) ist eine souveräne Datenplattform, die den sicheren und fairen Austausch von Mobilitätsdaten zwischen Unternehmen, Behörden und Forschungseinrichtungen ermöglicht. Er basiert auf den Prinzipien der GAIA-X-Initiative und verwendet eine Connector-Technologie, die dezentrale, standardisierte und vertrauenswürdige Datenräume schafft. Aufgrund der technischen Konformität mit Pontus-X konnte eine Anbindung an den MDS nicht realisiert werden. Es bestand im Laufe des Projektes aber ein enger Austausch und Zusammenarbeit in Form von gemeinsamen Workshops und Austauschterminen.

Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Kortenbruck, G., Jakubczyk, L. and Nowak, D.F., 2023. Voltage Signals Measured Directly at the Battery and via On-Board Diagnostics: A Comparison.

<https://doi.org/10.3390/vehicles5020035>

Bohne, T., Windler, P. and Atzmueller, M., 2023. A Neuro-Symbolic Approach for Anomaly Detection and Complex Fault Diagnosis Exemplified in the Automotive Domain, <https://doi.org/10.1145/3587259.3627546>

Atzmueller, M., Bohne, T. and Windler, P., 2024. Knowledge-Augmented Explainable and Interpretable Learning for Anomaly Detection and Diagnosis,

<https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.00146>

Bohne, T., Windler, P. and Atzmueller, M., 2025. A Domain-Agnostic Neuro-Symbolic Architecture for Multimodal Human-in-the-Loop Anomaly Detection and Complex Fault Diagnosis, <https://www.sciencedirect.com/journal/information-fusion> **(under review)**

Kortenbruck, G., Jakubczyk, L., 2025. Methoden der automatischen Ontologie-Erstellung, Mensch und Computer, [Mensch und Computer 2025 – 31. Aug – 3. Sept 2025, Chemnitz](#) **(under review)**

Kortenbruck, G., Jakubczyk, L., 2025. Distinction-Based Ontologies, FOIS, [FOIS 2025 – 15th International Conference On Formal Ontology in Information Systems – Catania, September 8-12, 2025](#) **(under review)**

Kortenbruck, G., Jakubczyk, L., Heinrichs, J., 2025. A First Implementation with Self-Referential Logic, [UCNC 2025 - Home](#) **(under review)**

Eine detaillierte Darstellung der öffentlichkeitswirksamen Maßnahmen befindet sich im Anhang 3.