


Abschlussbericht

Zuwendungsempfänger: virtualcitySYSTEMS GmbH (VCS)	Förderkennzeichen: 19S21006G
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt: GAIA-X 4 PLC-AAD – Production, After-Sales und PLC – Across Automated Driving Teilvorhaben: Digitaler Geo-Zwilling für GAIA-X Future Mobility	
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2022 bis 31.03.2025	

	<p>Gefördert durch:</p>  <p>Bundesministerium für Wirtschaft und Energie</p>	<p>Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 19S21006G gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.</p>
<p>Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU</p>	<p>aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages</p>	

I. Kurzdarstellung

I.1 Aufgabenstellung

Traditionell sind Entwicklung, Produktion und Betrieb von Produkten oft getrennte Bereiche mit begrenztem Datenaustausch, was insbesondere nach der Markteinführung zu eingeschränkten Optimierungsmöglichkeiten für Hersteller führt. Fortschritte in der Informations- und Kommunikationstechnologie ermöglichen nun die Vernetzung intelligenter Geräte und Komponenten, die wertvolle Daten für das Product Lifecycle Management (PLM) liefert. Das Konzept des Digitalen Zwillings bietet eine Lösung, indem es die physische und virtuelle Welt verbindet und alle produktbezogenen Informationen zentralisiert, was neue Möglichkeiten für Systemoptimierungen eröffnet und die Integration von Entwicklungs-, Produktions- und Betriebsdaten ermöglicht.

Ziel des Projektes GAIA-X 4 PLC-AAD war der Aufbau eines souveränen Daten- und Dienstesystems, das Produktion, Fertigung, Betrieb und Maintenance automatisierter Fahrfunktionen datengestützt ermöglicht. Dazu sollte das Konzept eines Digitalen Zwillings erarbeitet werden, der als digitale Repräsentation des physischen Produkts alle Informationen des gesamten Lebenszyklus (Product Life Cycle - PLC) bündelt und verknüpft. Insbesondere sollten Daten, die im Test und Betrieb automatisierter Fahrzeuge anfallen, für die Validierung neuer Funktionen genutzt werden. Ein weiterer Schwerpunkt war die Predictive Maintenance,

mit der automatisierte Fahrzeuge kontinuierlich überwacht und optimiert werden können. Im Projekt wurden die beiden Use Cases „Adaptive Lane Keeping System (ALKS) PLC“ und „Sensor PLC“ adressiert. Am Beispiel eines Spurhaltesystems sowie eines Sensors für automatisierte Fahrzeuge wurden die Anforderungen an die Daten entlang des PLC erarbeitet und die entsprechenden Strukturen im GAIA-X Daten- und Dienste-Ökosystem aufgebaut. Die Arbeiten flossen im prototypischen Aufbau eines Digitalen Zwillings für die beides Use Cases zusammen.

Die Aufgabe der virtualcitySYSTEMS GmbH war es, im Zusammenhang mit den Projektschwerpunkten „Automobilitätsdatenraum und Ökosystem“ sowie der „automatisierten Fahrfunktion PLC“ Digitale Zwillinge aus der Sicht von digitalen, georeferenzierten 3D-Stadtmodellen für die automatisierte Fahrfunktion zu ergänzen. Schwerpunkte lagen in Metadatenbeschreibungen (z.B. zu Formaten, Versionen und Quellen von Modellen) mit Fokus auf den PLC von 3D-Geodaten, der Weiterentwicklung der Standards CityGML (Standard für die detaillierte semantische Beschreibung von 3D-Stadtmodellen) und OpenDRIVE (gängige parametrische Datenstruktur aus dem Bereich der Fahrzeugentwicklung zur Beschreibung der Logik eines Straßennetzes) sowie der Entwicklung von Schnittstellen für 3D-Umgebungsmodelle zum GAIA-X Daten- und Dienste-Ökosystem.

I.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Projekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWE) im Programm „Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien“ gefördert und vom Projektträger TÜV Rheinland Consulting GmbH, Projektträger Bodengebundene Verkehrstechnologien, betreut.

Projektpartner waren:

- msg systems AG, Ismaning
- ADC Automotive Distance Control Systems GmbH, Lindau (Bodensee)
- Institut für Qualitäts- und Zuverlässigkeitsmanagement GmbH, Wuppertal
- Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft, München
- Infineon Technologies AG, Neubiberg
- SETLabs Research GmbH, München
- Perpetuum Progress GmbH, Ingolstadt
- AVL Deutschland GmbH, Mainz-Kastel
- TrianGraphics GmbH, Berlin
- Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung eingetragener Verein, München
- Conti Temic microelectronic GmbH, Ingolstadt
- TraceTronic GmbH, Dresden
- Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS), Stuttgart
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Köln
- 3D Mapping Solutions GmbH, Holzkirchen
- Technische Universität München, München
- Technische Hochschule Ingolstadt, Ingolstadt
- Technische Universität Berlin, Berlin
- Automotive Solution Center for Simulation e. V., Stuttgart
- virtualcitySYSTEMS GmbH

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Für die Vorhabenspartner bestand ein gemeinsamer Arbeitsplan, in dem die Firma virtualcitySYSTEMS GmbH bei den folgenden Arbeitspaketen mitwirkte (Kurzfassung):

AP-Nr.	Titel Arbeitspaket	Jan. 22	Feb. 22	März 22	Apr. 22	Mai. 22	Jun. 22	Juli 22	Aug. 22	Sep. 22	Okt. 22	Nov. 22	Dez. 22	Jan. 23	Feb. 23	März 23	Apr. 23	Mai. 23	Jun. 23	Juli 23	Aug. 23	Sep. 23	Okt. 23	Nov. 23	Dez. 23	Jan. 24	Feb. 24	März 24	Apr. 24	Mai. 24	Jun. 24	Juli 24	Aug. 24	Sep. 24	Okt. 24	Nov. 24	Dez. 24	Aufwand PM			
AP 3.1	Anforderungen aus Entwicklungs-Methoden, -Prozessen und -Standards an das Gesamtsystem	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																				12,0		
AP 3.2	Ökosystemprozesse und Rollen			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																			6,0
AP 3.3	Information Model & Meta-Data Standards								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	9,0
AP 3.4	Marketplace as a Service of Services																																							6,0	
AP 3.5	Engineering- und ODDE-Services sowie virtuelle Validierungs- und Zertifizierungsumgebungen																																							3,0	
AP 3.7	Entwicklung Digitaler Zwillinge																																							6,0	
AP 3.8	Betrieb und Pflege von Digitalen Zwillingen																																							6,0	
AP 4.1	Bereitstellung ODD und Umfelddaten	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	12,0	
Summe Produktivmonate:																																								48,0	

Tabelle 1: Zeitplan, Arbeitspakete und -teilkapete mit Beteiligung von VCS (Aufwand in produktiven Personenmonaten – PM)

Der Ablauf des Vorhabens folgte im Wesentlichen dieser Planung, wobei eine kostenneutrale Verlängerung um drei Monate bis zum 31.03.2025 genehmigt wurde.

I.4 Wissenschaftlich-technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Der Etablierung eines digitalen Ökosystems aus der Kombination von Infrastruktur, Daten und Diensten stehen zu Projektbeginn beträchtliche Probleme auf Seiten der europäischen Cloud-Landschaft gegenüber. Einige wenige Unternehmen, die sogenannten Hyperscaler, besitzen eine hohe Marktmacht und sind mitverantwortlich für eine fehlende Interoperabilität einzelner Systeme sowie eine fehlende Portabilität von Daten und Services¹.

Zudem herrscht eine hohe Unsicherheit hinsichtlich rechtlicher Aspekte² sowie oftmals ein geringes Vertrauen zwischen den Geschäftspartnern³, sodass hohe Hürden zu überwinden sind, um Daten oder Dienste zwischen Organisationen zur Verfügung zu stellen.

Das Ziel von GAIA-X war es, diese Hürden zu überwinden und eine Dateninfrastruktur der nächsten Generation für Europa und basierend auf europäischen Werten aufzubauen. Interoperabilität von Diensten und Infrastruktur, Transparenz über die gesamte Wertschöpfungskette und die digitale Selbstbestimmung der Teilnehmer sollten dabei durch die Bereitstellung einer Architektur aus Standards und den Federation Services erzeugt werden, wobei hier u.a. auf Technologien der International Data Spaces Association (IDSA)

¹ Demchenko, Y., Los, W., & de Laat, C. (2018). Data as economic goods: Definitions, properties, challenges, enabling technologies for future data markets. ITUJournal-ICT Discoveries, 1(2).

² Spiekermann, M. (2019). Data marketplaces: Trends and monetisation of data goods. Intereconomics, 54(4), 208-216.

³ Gelhaar, J., & Otto, B. (2020). Challenges in the Emergence of Data Ecosystems. In PACIS (p. 175).

aufgebaut wurde⁴. Insgesamt versprach eine erfolgreiche Umsetzung von GAIA-X dabei die Reduktion von Abhängigkeiten, die Erhöhung der Transparenz und Attraktivität digitaler, wiederverwendbarer Services, insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) sowie letztendlich die Erzeugung digitaler Ökosysteme und Data Spaces entsprechend der Forderungen in der Europäischen Datenstrategie⁵. Dementsprechend sollte GAIA-X auch die Entwicklung von Datenräumen im Bereich Mobilität befähigen.

Schutzrechte, die dem Vorhaben entgegenstanden, waren nicht bekannt.

I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Als Mitglied des ASAM e.V. (Association for Standardisation of Automation and Measuring Systems) wirkte VCS an der Standardisierung des OpenDRIVE-Formats mit, das auch im GAIA-X-Projekt eine zentrale Rolle spielte. VCS engagierte sich schwerpunktmäßig in Projekten zum Area Model, der 3D-Modellierung des Straßenraums, wie er auch im vorliegenden Projekt im Fokus stand.

Bei der Entwicklung von Stadt- und Straßenraummodellen unter Nutzung des CityGML-Standards arbeitete VCS mit der TU München zusammen. Während der Projektlaufzeit konnte die neue Version 3.0 des Standards veröffentlicht werden. Diese beinhaltet ein vollständig überarbeitetes Konzept zur semantischen Straßenraummodellierung in verschiedenen Detaillierungsstufen (Level-of-Detail). Der internationale OGC-Standard CityGML wird weltweit zur Repräsentation, zur Speicherung und zum Austausch semantischer 3D-Stadtmodelle verwendet. Der Standard beinhaltet einen Erweiterungsmechanismus, mit dem zusätzliche, nicht ursprünglich enthaltene Konzepte formalisiert werden können (sog. Application Domain Extension (ADE)). Eine solche Erweiterung (ADE) wurde vom Lehrstuhl für Geoinformatik in Zusammenarbeit mit VCS entwickelt, um Konzepte des Standards OpenDRIVE in CityGML-Daten besser abbilden zu können. Über die Entwicklungspartnerschaft zur 3DCityDB entstand eine komplett neuartige Datenbankkomponente zum Speichern und Verwalten von Datensätzen im CityGML 3.0 Standard.

Ferner hat sich VCS auch aktiv in die Erarbeitung der im Dezember 2024 veröffentlichten Din-Spec 91607 Digitaler Zwilling für Städte und Kommunen eingebracht und wird mit Dr. Claus Nagel und Dr. Stefan Trometer als Koautoren in der Autorenschaft genannt.

Im Rahmen des TwinBy-Projektes zum Aufbau von Urbanen Digitalen Zwillingen (UDZ), das vom Bayerischen Staatsministerium für Digitales (StMD) gefördert wurde, ging es um die Erprobung von UDZ basierend auf dem SDDI-Konzept bei ausgewählten Förderkommunen. Das SDDI-Konzept ist ein spezifisches Smart-City-Konzept bzw. Konzept für UDZ, das einen zentralen Datenkatalog und standardisierte und offene Datenformate und Schnittstellen bedingt und ein System-of-Systems bildet. Anwendungsfälle behandelten auch Fragestellungen zur Mobilität, Simulation und Sensorik. Die Erkenntnisse flossen in das vorliegende Projekt zu Datenräumen und Ökosystemen ein.

VCS hat einen Auftrag an die DiMOS Operations GmbH, Kiefersfelden, für externe Kommunikation (Project Management Office) vergeben.

Die Abwicklung des Teilvorhabens (Antragstellung, Berichtswesen, Kostenermittlungen und Zahlungsanforderungen bis hin zum Verwendungsnachweis) wurde vom Ingenieurbüro Mager, Innovations- und Förderberatung, Dr.-Ing. Klaus Mager (klaus.mager@t-online.de), unterstützt.

⁴ GAIA-X: Technical Architecture. <https://www.bmw.de/Redaktion/EN/Publikationen/GAIA-X-technical-architecture.html>

⁵ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0066&from=EN>

II Eingehende Darstellung

II.1 Verwendung der Zuwendung, erzielttes Ergebnis, Abgleich mit der Zielsetzung

Der Aufbau des Datenökosystems erfolgte auf Grundlage von zwei innovativen Anwendungsfällen aus der Praxis der hochautonomen Fahrfunktionen sowie der Sensorentwicklung und -fertigung. Im Schwerpunkt „Stream ALKS“ sollte mit der Entwicklung, virtuellen Absicherung und Betrachtung von Zulassungsaspekten der hochautomatisierten Fahrfunktion „Adaptive Lane Keeping System“ (ALKS) nicht nur ein Digitaler Zwilling für die Fahrfunktion, sondern auch ein Virtuelles Testfeld bzw. eine Testumgebung aufgebaut werden (System-of-Systems). Der Schwerpunkt „Stream Sensor“ diente der virtuellen Absicherung der Supply Chain sowie der Fertigung, indem ein Digitaler Zwilling einer Supply Chain aufgebaut werden sollte, mit dem Engpass-Situationen (Bull-Whip Effekt) simuliert und Lösungsmöglichkeiten abgeleitet werden können.

Die virtualcitySYSTEMS GmbH (VCS) war an den Arbeitsschwerpunkten „Automobilitätsdatenraum und Ökosystem“ und „Automatisierte Fahrfunktion PLC“ beteiligt, um Digitale Zwillinge aus der Sicht von digitalen, georeferenzierten 3D-Stadtmodellen für die automatisierte Fahrfunktion zu ergänzen. Für das Teilvorhaben von VCS bestanden die Ziele, eine Anforderungsanalyse an Datenmodelle für die Repräsentation von 3D-Straßenraum- und Umgebungsmodellen unter Berücksichtigung semantischer und struktureller Eigenschaften in Bezug zu den Anwendungsfällen Sensor und ALKS durchzuführen. Die Kohärenz dieser Anforderungen sollte zu internationalen Standards, insbesondere OGC CityGML (Umgebungsmodell bzw. Straßenraummodell) und ASAM OpenDRIVE (Straßenraum), abgeglichen und Erweiterungskonzepte sollten abgeleitet werden. Zur Weiterentwicklung dieser Standards in den Standardisierungsgremien (ASAM e.V. und Open Geospatial Consortium OGC) als aktive Partner bei der Entwicklung von CityGML 3.0 und OpenDRIVE 1.7/2.0 sowie OpenCRG sollten Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Weiterhin sollten die Anforderungen an die Metadatenbeschreibungen mit Fokus auf den PLC von 3D-Geodaten (Verfügbarkeit, Genauigkeit, LevelOfDetail, Aktualität) analysiert und allgemeine Handlungsempfehlungen und anwendungsspezifische Leitlinien für die Anwendungsfälle Sensor und ALKS ermittelt werden.

Im Rahmen des Arbeitsschwerpunkts „Automatisierte Fahrfunktion PLC“ sollte VCS virtuelle Umgebungsmodelle auf Basis des GAIA-X Open Distributed Data Ecosystems (ODDE) bereitstellen. Anhand des gegebenen Anwendungsfalles das ALKS sollte eine anwendungsorientierte Demonstration der korrespondierenden Entwicklungen bzgl. des GAIA-X konformen ODDE aus dem Arbeitsschwerpunkt „Automobilitätsdatenraum und Ökosystem“ erfolgen. Anhand von Pilotanwendungen (Testfeld Niedersachsen, ALP.Lab oder Testfeld Ingolstadt aus dem FuE SAVE oder anderen) sollte die konkrete Prozessarchitektur mit allen Stakeholdern erprobt werden. Neben der Bereitstellung der spezifischen Modelle als Cloud Service Infrastruktur entsprechend der ODD-Definition sollte der Verifizierung und Zertifizierung der Modelle eine hohe Bedeutung beigemessen werden.

II.1.1 Anforderungen an Entwicklungsmethoden, -prozesse und -standards

Für die Entwicklungsumfelder der Anwendungsfälle Adaptive Lane Keeping System (ALKS) und Sensor wurden in GAIA-X die Produktentwicklungs-, Produktions-, Betriebs-, Wartungs-, Instandhaltungs- und Update-Prozesse analysiert. Aus den Anforderungen an die Anwendungsfälle hat VCS Erweiterungskonzepte für CityGML (Standard für die detaillierte semantische Beschreibung von 3D-Stadtmodellen) und OpenDRIVE (gängige parametrische Datenstruktur aus dem Bereich der Fahrzeugentwicklung zur Beschreibung der Logik eines

Straßennetzes) abgeleitet. Eine große Herausforderung bestand in der Synchronisation der Standards CityGML und OpenDRIVE. Als Mitglied des ASAM e.V. (Association for Standardisation of Automation and Measuring Systems) wirkt VCS an der Standardisierung des OpenDRIVE-Formats mit, das auch im GAIA-X-Projekt eine zentrale Rolle spielte. In einem Concept Project wurden Synergieeffekte zwischen den Standards CityGML und OpenDRIVE herausgearbeitet und FuE-Ergebnisse aus dem GAIA-X-Projekt in die Standardisierung zurückgeführt.

VCS war an der Anforderungsanalyse für die Metadatenbeschreibungen mit Fokus auf dem Product Life Cycle (PLC) von 3D-Geodaten beteiligt. In einem Workshop am 04.05.2022 bei der msg systems AG in Ismaning hat VCS die Grenzen bezüglich der Verfügbarkeit, Genauigkeit und Aktualität vorgestellt. Auf dieser Basis wurden die Anforderungen aus den Anwendungsfeldern ALKS und Sensor geprüft, damit darauf die Beschreibung von Metadaten aufbauen konnte.

Zwischen den Projektpartnern TrianGraphics, 3D Mapping Solutions und VCS wurde eine konsolidierte Metadatenbeschreibung erarbeitet und in einer umfangreichen Excel-Datei abgelegt. Tabelle 2 zeigt einen Auszug daraus für die Kategorie *General*. Solche Beschreibungen wurden für die Kategorien *HD Map*, *Surface Model*, *Scenario*, *3D Environment*, *GeoData CityGML / DGM / DOP*, *Simulation Configuration SSP* und *Validation/Verification* erstellt.

CityGML ist ein internationaler Standard des Open Geospatial Consortiums (OGC) zur Modellierung, Speicherung und dem Austausch semantischer 3D-Stadtmodelle. Im September 2021 wurde die Version 3.0 des CityGML-Standards mit einer Reihe von Verbesserungen, Erweiterungen und neuen Funktionalitäten verabschiedet, darunter ein auf den ISO 191xx Standards basierendes Datenmodell und ein überarbeitetes LoD-Konzept (Level-of-Detail). Im Projekt hat die VCS GmbH notwendige Anpassungen ihrer Werkzeuge und Softwaretools zur Unterstützung der Neuerungen des neuen Standards CityGML 3.0 vorgenommen. Dies betraf Entwicklungen zum open-source-Datenbanksystem 3DCityDB, zur open-source-VC-Map sowie Vorarbeiten am VC Publisher, um das neue Format CityGML3.0 zu unterstützen

Die Datenbank 3DCityDB ist ein relationales Datenbankschema, das den Standard CityGML implementiert. Sie bildet die Basis für Digitale Zwillinge, für Simulationen und für die Stadtplanung, und wird als open-source-Technologie für den neuen Standard CityGML 3.0 in einer Entwicklungspartnerschaft mit der TU München weiterentwickelt, auch um den Straßenraum und dessen Möblierung semantisch beschreiben zu können.

Als Erweiterungskonzept wurde ein Area-Konzept in OpenDRIVE vorgesehen, welches sich stark an den Geometriekern von CityGML anlehnt. In diesem Zusammenhang gab es Aktivitäten und Abstimmungen zwischen VCS und ASAM (OpenDRIVE-Arbeitsgruppe für die Projekt-Umgebungsmodellierung). Im Sinne von Handlungsempfehlungen, die zur Weiterentwicklung der Standards CityGML und OpenDRIVE an die Gremien ASAM und OGC gegeben werden, flossen Erkenntnisse aus der Projektarbeit, insbesondere aus der Arbeitsgruppe Data Provider, in die Arbeit der entsprechenden Gremien bei ASAM und dem OGC ein. Dies betraf auch die Entwicklung der 3DCityDB als Datenbank-Managementsystem (DBMS) für die Speicherung und Interaktion mit CityGML 3.0 Datensätzen. Damit kann insbesondere die Repräsentation von Straßenraummodellen durch CityGML 3.0 unterstützt werden.

Category		Attribute			SRMD attribute
Data type	subtype	Name	Description	Example	
General	General				
	description	type	short type description	road network	resource.type model.type trafficSpace.name
		family	town district	town district	model.family trafficSpace.family
		character	with traffic signs	with traffic signs	model.name trafficSpace.character
	format	data format format version		OpenDRIVE / Road5 / Here Live Map / Lanelet / DLM / road2sim / roadXML / Shape 1.5	model.implementation.format model.implementation.format
	vendor	name date		TrianGraphics GmbH 01.10.22	model.manufacturer model.releasedate
		Creation source, version	tool for the creation of the data	Trian3DBuilder, version 7.7	model.implementation.tool
	position	country state town bounding		Germany, GER Bavaria Grafing by Munich Lat: 1.234- 1.345; Lon 45.23-45.34	trafficSpace.recordingcountrycode data.position.state data.position.town data.position.bounding
	links	data link media link	reference to dependent data reference to screenshot data	link to CRG link to screenshot, video	data.link data.media.link
	licence	licence type licence link		MIT link to licence	data.licence.type data.licence.link

Tabelle 2: Auszug aus dem Metadaten-Katalog (hier: Kategorie und Datentyp „General“)

Die Anforderungsanalyse zu Datenmodellen für die Repräsentation von 3D-Straßenraum- und Umgebungsmodellen unter Berücksichtigung semantischer und struktureller Eigenschaften in Bezug zu den Anwendungsfällen Sensor und ALKS hat die folgenden Ergebnisse erbracht:

- Erforderliche Materialeigenschaften wurden definiert.
- Für einige Anwendungen ist das LOD2-Format der flächendeckenden Gebäudemodelle zu gering.
- Es wurden keine physikalischen Simulationen in Bezug auf Sensoren durchgeführt, sondern die Umgebungsmodelle wurden rein für die Visualisierung verwendet. VCS hat jedoch eine direkte Integration von CityGML in CARLA (Open-Source Simulations-Software) und Ansys (FE- und Multiphysik-Simulations-Software) realisiert. Die Simulationssoftware CARLA (Car Learning to Act) basiert auf der Unreal Engine. Mit Hilfe des weiterentwickelten Software-Stacks von VCS ist eine nahtlose Integration virtueller Umgebungsmodelle realisiert worden. Daten und Modelle sind direkt über Unreal in CARLA nutzbar. Daten und Modelle können auf diesem Weg von VCS für Simulationsanwendungen bereitgestellt werden.

Aus den Anforderungen wurden die folgenden Erweiterungskonzepte für CityGML abgeleitet:

- Mit einer OpenDRIVE ADE (Application Development Environment) sollte die bisher rein parametrische Objektrepräsentation in OpenDRIVE um eine flächenbezogene Repräsentation erweitert werden. Zugleich sollte damit ein standardisiertes Datenmodell entstehen, um OpenDRIVE-Daten CityGML-konform zu speichern.
- Parallel sollte in ODR ein Area-Konzept entstehen, welches sich stark an den Geometrikern von CityGML anlehnt.

Für die Funktionalitäten der Geodatenverarbeitung, der Geodatentransformation in verschiedene Zielformate sowie der Datenprozessungsketten wurde von VCS eine REST-Schnittstelle (Representational State Transfer) implementiert. Eine solche Schnittstelle ist ein Application Programming Interface (API), das den Beschränkungen der REST-Architektur unterliegt und Interaktionen mit RESTful Webservices, wie z.B. FME-Servern, ermöglicht. Über diese Schnittstelle können nun alle Funktionalitäten des VC Publisher in Drittanbieter-Werkzeugen und Anwendungen angesteuert und deren Ergebnisse für anwendungsübergreifende Fragestellungen kombiniert werden. Geodatenverarbeitende Prozesse von VCS können einfach in andere Workflows eingebunden werden.

II.1.2 Ökosystemprozesse und Rollen

In GAIA-X wurde ein offenes, dezentrales Datenökosystem entwickelt (Open Distributed Data Ecosystem - ODDE), das die Produktentwicklung, die Fertigung sowie den After Sales auf Basis eines Digitalen Zwillings ermöglicht. Die Rolle jedes Partners im Ökosystem musste definiert und die Zusammenarbeit zwischen den Teilnehmern beschrieben werden. In der Arbeitsgruppe der Projektpartner Triangraphics (TG), 3D Mapping Solutions (3DM) und VCS wurden die Rollen „Datenerzeuger“ und „Datenveredler“ definiert. VCS nahm die Rolle des „Datenveredlers“ oder „Datentransformators“ ein. Dabei dienten CityGML-Umgebungsmodelle als Datengrundlage für weitere Visualisierungsformate von TG. VCS verwendete die von 3DM erzeugten hochgenauen Kartendaten im OpenDRIVE-Format zur Web-Visualisierung der detaillierten Straßenraummodelle im Kontext der Umgebungsmodelle.

Erweiterte Metadatenkonzepte sollten in etablierte Konzepte einer 3D-Geodateninfrastruktur (3D-GDI), die die Standards CityGML und OpenDRIVE nutzt, zurückgeführt werden. Zur Einbeziehung dieser 3D-GDI in die Ökosystemprozesse bietet die Blockchain-Technologie die Möglichkeit, Daten und deren Metadaten abzusichern und sie somit in Zertifizierungsprozessen von virtuellen Fahrfunktionen zu verwenden. Erkenntnisse aus einem

Workshop während eines Projekttreffens bei Infineon flossen in die Weiterentwicklung der OpenDrive-ADE ein. Sie dienten außerdem zur Professionalisierung des CityGML-Formats.

Eine Aufgabe von VCS bestand darin, die Metadatenbeschreibungen mit Fokus auf den PLC von 3D-Geodaten in zentrale Katalog- und Registerkomponenten einzubringen. Zunächst hat VCS die Verwendung von CKAN (*Comprehensive Knowledge Archive Network*) als Katalogdienst vorangetrieben. CKAN ist eine webbasierte Datenkatalog-Software, die insbesondere von öffentlichen Einrichtungen und großen Web-Portalen für das Teilen „offener Daten“ verwendet wird. Konkret können damit z.B. OpenDRIVE-Datensätze nach Inhalt und Ablageort beschrieben und für einen virtuellen Marktplatz bereitgestellt werden. Im weiteren Projektverlauf wurde der angestrebte Marketplace vom Projektpartner ASCS entwickelt und basierte nicht mehr auf CKAN. Die gesammelten Erkenntnisse und Erfahrungen und Anforderungen aus CKAN flossen jedoch in die Entwicklung ein. VCS verfolgt das Thema CKAN weiter, da es im klassischen Kundensegment und beim Thema Urbane Digitale Zwillinge gefordert wird.

Für die Nutzung von CKAN als Katalogdienst zur Verarbeitung von OpenDRIVE-Datensätzen wurde zusammen mit Bayern Innovativ eine erste Pilot-Anwendung aufgesetzt und mit neuen Funktionen der TU München, Lehrstuhl für Geoinformatik (Prof. Kolbe), erweitert. Zusätzlich wurde die Cloud-Fähigkeit in einem Kubernetes-Cluster bewiesen. Die Anbindung von LDAP (Lightweight Directory Access Protocol) als Verzeichnisdienst wurde implementiert. Zusätzlich wurden Stress-Tests zur Sicherstellung der Robustheit durchgeführt

II.1.3 Information Model & Meta-Data Standards

In diesem Modell bildet VCS die ISO 19115 „Geographic Information Metadata“ auf die Anforderungen für die Anwendungsfälle Sensor und ALKS für den Bereich der 3D- und 2D-Geodaten ab. Aus der ISO-Serie 191xx wurden Konzepte abgeleitet und auf die Entwicklung einer Meta-Data-Description für den ASAM-Standard OpenDRIVE ontologisch adaptiert. In der OpenDRIVE-Arbeitsgruppe wurde ein Area-Konzept zur Umgestaltung der Geometrirepräsentation des Straßenraums vorgeschlagen. Dabei spielen die Konzepte aus der ISO-Serie 191xx eine große Rolle. VCS beteiligte sich aktiv an dieser Weiterentwicklung.

Um Metadatenkonzepte in zentrale Katalog- und Registerkomponenten (Implementierungen) einbringen zu können, hat VCS in Kooperation mit TrianGraphics und 3D Mapping Solutions einen konsolidierten Vorschlag für eine Metadatenbeschreibung erarbeitet. Einen Auszug davon zeigt Tabelle 2.

Die von VCS erarbeiteten Metadatenkonzepte dienen u.a. dazu, dass Datensätze und Details in Katalogdiensten eindeutig zugeordnet bzw. zielgerichtet gefunden werden können.

II.1.4 Marketplace as a Service of Services

Die notwendigen Funktionen eines integrierten Marktplatzes für eine unternehmensübergreifende Zusammenarbeit mussten konzipiert werden. Insbesondere sind digitale Güter zu finden und zu vermitteln sowie ergänzende Services anzubieten.

Für Datenformat-Transformationen für die Datenformate ausgewählter Entwicklungswerkzeuge zur Umsetzung der Anwendungsfälle Sensor und ALKS wurde ein ODR-Konverter definiert und implementiert. Er ermöglicht die Konversion von Daten in das GIS-Format innerhalb von OpenDRIVE, damit Simulationsergebnisse anschaulich visualisiert und Szenarien in der VC-Map von virtualcitySYSTEMS dargestellt werden können. Zur

Konvertierung von OpenDRIVE-Datensätzen in beliebige CAD-Formate wurden zusätzlich FME-Workflows entwickelt.

VCS hat Metadatenbeschreibungen mit einem Fokus auf den PLC von 3D-Geodaten in zentrale Katalog- und Registerkomponenten und den Aufbau des Marketplace eingebracht. Die realisierten Neuerungen im Rahmen der erarbeiteten Metadatenbeschreibungen erlauben es, z.B. OpenDRIVE-Datensätze nach Inhalt und Ablageort zu beschreiben.

Als Teil einer verteilten (Geo-)Daten Infrastruktur kann ab dem 01.01.2023 OpenData Bayern als freiverfügbarer OGC-Dienst genutzt werden. Er stellt u.a. geologische Karten von Bayern, Radwege oder bayerische Schlösser dreidimensional zur Verfügung. Insbesondere sind darin Gebäudemodelle in LoD-2 flächendeckend verfügbar, so dass sie nicht mehr händisch modelliert werden müssen.

Die Automobilindustrie nutzt die VR-Entwicklungsumgebungen Unity oder Unreal, die eigentlich als Game-Engines konzipiert sind, zunehmend für Simulationen. Eine VR-Engine beinhaltet verschiedene Funktionen, wie z.B. Renderer, um 3D-Objekte (Entities) zu visualisieren, um Lichtquellen miteinzubeziehen oder um Betrachtungswinkel zu berücksichtigen. VCS hat daher eine Schnittstelle der 3D-Web-GIS-Lösung VC Map in die Engines Unity und Unreal als Modellbasis für VR/AR-Anwendungen und Fahrsimulationsanwendungen, die auf CARLA basieren, entwickelt. Für die objektorientierten Straßenraummodelle in OpenDRIVE musste die bestehende prototypische Schnittstelle (Abbildung 1) angepasst und erweitert werden. Gegenwärtig können keine instanziierten Objekte aus Objektbibliotheken, wie Schilder und Ampeln, übertragen werden. Hierzu ist der bestehende Prozess zu ergänzen.

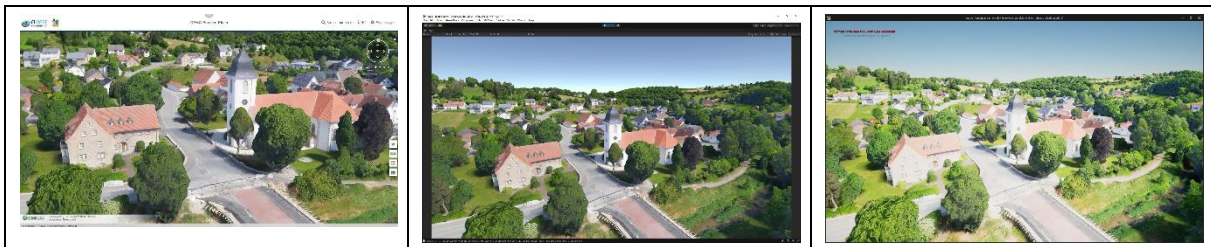


Abbildung 1: FIWARE-Demo Borchten-Etteln mit hochauflöstem 3D-Meshmodell in der interaktiven Webkartenanwendung VC Map und konvertiert über eine prototypische Schnittstelle nach Unity und Unreal.

Die offene Plattform Cesium für 3D-Geodaten verfügt über ein Open-Source-Plugin (Cesium for Unity), das die Nutzung realer 3D-Daten in der Unity-Plattform ohne Datenkonvertierung ermöglicht. Cesium for Unity ermöglicht es Unity-Entwicklern, vollständig immersive und interaktive Metaverse-Apps, Spiele, Simulationen und Erlebnisse mit präzisen, hochauflösenden 3D-Geodaten zu erstellen, die von Drohnen, Satelliten und anderen Quellen gesammelt wurden. VCS hat Umgebungsdaten in Cesium for Unity eingebunden, darunter Cesium 3DTiles Modelle (Gebäude, Digitales Geländemodell, Orthophoto) und Straßenraummodelle, die aus OpenDRIVE nach CityGML transformiert wurden. Aktuell können allerdings nur explizite Objekte eingebunden werden. Instanced-3D-Models (i3dm's) werden von Cesium for Unity nicht unterstützt. VCS arbeitet an einer möglichen Umsetzung. Außerdem kommt es bei der Einbindung von Texturen aus dem Straßenraummodell noch zu Problemen.

Beispiele für die gelungene Transformation zeigen Abbildung 2 und Abbildung 3 anhand von Straßenmodellen des virtuellen Testfelds der Stadt Grafing. Sie lagen zunächst im OpenDRIVE-Format vor und wurden dann nach CityGML und in das Web-Visualisierungsformat 3DTiles transformiert und schließlich in Unity eingebunden.



Abbildung 2: Blick auf den Grafinger Marktplatz als digitale Geländeoberfläche mit weißem Straßenraum, dargestellt in der Unity-Engine

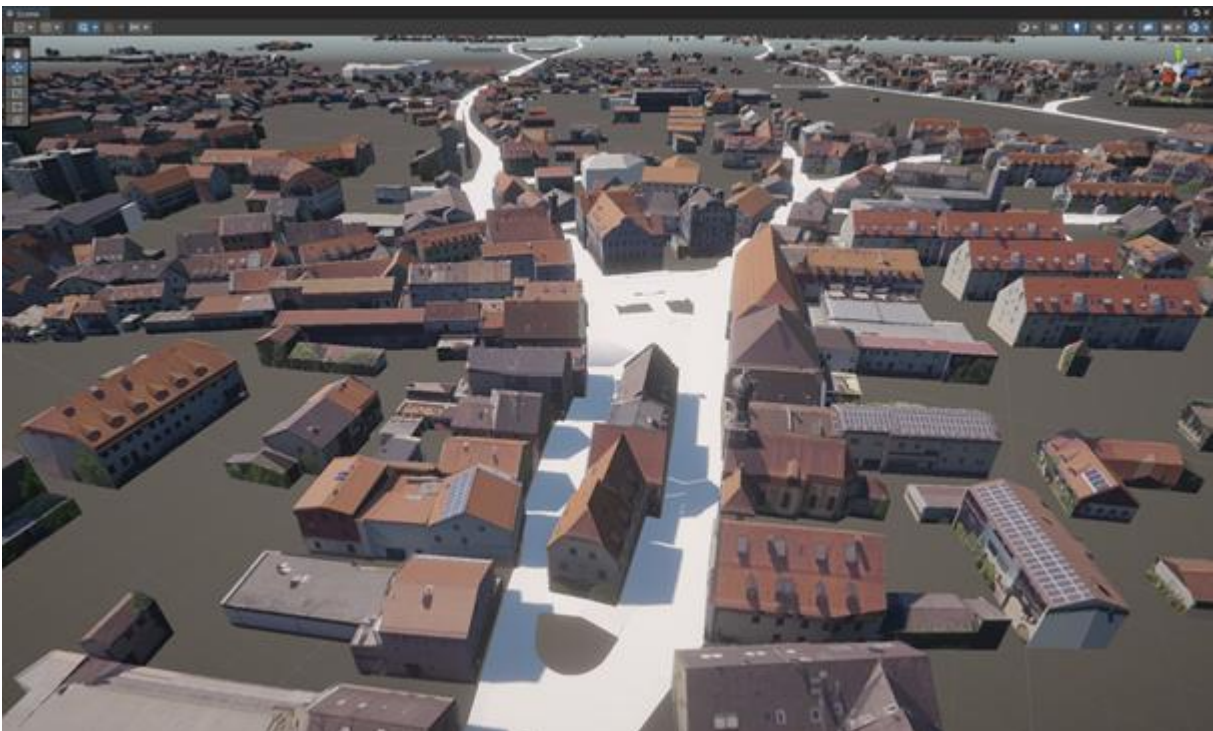


Abbildung 3: Grafinger Marktplatz mit Gebäudeschatten, dargestellt in der Unity-Engine

VCS hat für die Einbindung der VC Map als Vorschaukomponente für OpenDRIVE-Daten im Marketplace eine React-Komponente implementiert, welche den VC-Map-Core beinhaltet und

so alle API-Zugriffe über eine in React geschriebene Komponente ermöglicht. Dies ist eine Grundvoraussetzung für die Vorschau von OpenDRIVE-Daten im Marketplace, da dieser in React implementiert wird. Der öffentliche Speicherort (GitHub-Repository) liegt unter <https://github.com/virtualcitySYSTEMS/map-core-react>.

Außerdem wurden Weiterbildungsangebote mit Fokus auf 3D-GDI-Komponenten sowie Katalog- und Registersystemkomponenten entwickelt. Hierzu lief das bayerische Förderprojekt TwinBy zum Aufbau von Urbanen Digitalen Zwillingen, das vom Bayerischen Staatsministerium für Digitales (StMD) gefördert wurde und in dem VCS als Dienstleister für das Qualifizierungsprogramm verantwortlich war. TwinBy war eine Fortführung des SDDI-Projektes (Smart District Data Infrastructure) des Lehrstuhls für Geoinformatik der TUM, in dem für bayerische Modellregionen Digitale Zwillinge von Bauwerken, Stadtquartieren bis hin zu Regionen aufgebaut wurden. In der Fortführung konnten das damals entstandene Testfeld Grafing und die Dateninfrastruktur mit dem GAIA-X-Projekt vernetzt werden.

Im Projekt TwinBy wurde ein Qualifizierungsprogramm entwickelt, das auf einem modernen blended-learning-Konzept aufbaut. Diese Formate sind auf die Anforderungen aus GAIA-X übertragbar und Erkenntnisse aus dem Projekt flossen in den Zertifikatskurs „Digital Twins für Städte“ der TU München ein. Die Themen sind Gegenstand von Webinar-Veranstaltungen.

II.1.5 Engineering Services, virtuelle Validierungs- und Zertifizierungsumgebungen

Durch das ODDE neu entstehende Möglichkeiten zur Abbildung datengetriebener Engineering-Services und Validierungs- und Zertifizierungsmethoden durch technische Problemstellungen der Use Cases wurden untersucht und prototypisch umgesetzt. Der Anteil von VCS bestand in der Einbettung von Katalog- und Registersystemkomponenten in die Entwicklung von Validierungs- und Zertifizierungsmethoden.

Zur weiteren Nutzung von Geodaten aus GAIA-X data spaces hat VCS ein Plugin für die VC Map entwickelt, welches es ermöglicht, Geodaten aus Katalogdiensten zu beziehen und diese zur Laufzeit in einer VC Map einzubinden (Abbildung 4). Das Plugin unterstützt die Katalogdienste PIVEAU (Fraunhofer) sowie CKAN.

II.1.6 Entwicklung Digitaler Zwillinge

Mit der Entwicklung Digitaler Zwillinge wurden die zuvor erarbeiteten Funktionen und Modelle aggregiert. In den Digitalen Zwillingen ergänzen sich diese und werden durch geeignete Methoden in anwendbare Lösungen für die Anwendungsfälle zusammengeführt.

VCS hat in den Abstimmungsrunden mit den Projektpartnern das aus einem anderen FuE-Projekt (PLIMOS) bestehende virtuelle Testfeld der Stadt Grafing (siehe Abbildung 5) als mögliche Datenbasis vorgeschlagen. Es beinhaltet bereits einen umfangreichen Fundus an Daten:

- Amtliche Geobasisdaten (CityGML LOD2-Gebäudemodelle, Digitales Geländemodell, Digitales Orthophoto)
- OpenDrive Streckendaten
- Texturierte Gebäudemodelle
- Detaillierte Planungsmodelle (vereinzelt) (siehe Abbildung 6)

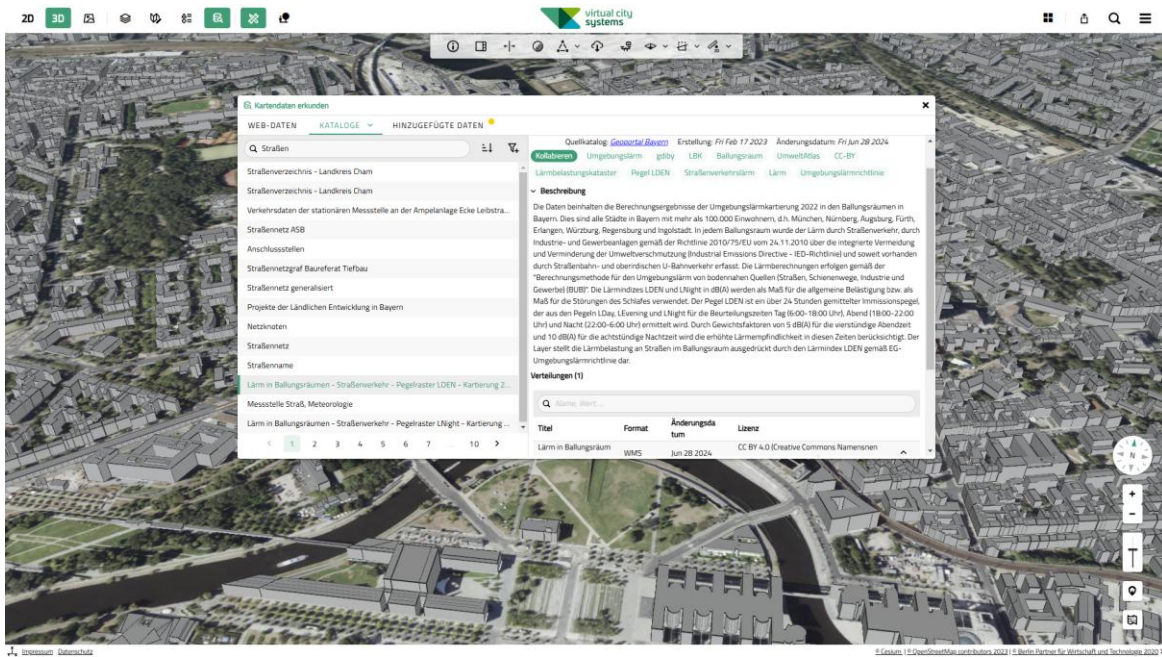


Abbildung 4: Einbindung von Katalogdiensten in die VC Map am Beispiel einer Umgebungslärmkartierung



Abbildung 5: Virtuelles Testfeld Grafing bei München als Referenzszenario im Projekt, das zusammen mit 3D-Mapping Solutions erstellt wurde. Der Screenshot eines e-Shuttles auf dem Marktplatz in Grafing zeigt Details der Verkehrsraummöblierung.

Synergieeffekte ergaben sich durch die Fortführung des OGC CityGML-Standards 3.0 mit einem neuen Mobilitätskonzept und die Fortführung des ASAM OpenDRIVE-Standards mit dem Schwerpunkt Umfeldmodellierung. Ferner stand VCS in Kontakt mit dem Forschungsprojekt SAVEnow und stellte dort virtuelle Umgebungsmodelle bereit und unterstützte als Dienstleister bei der Umsetzung der Projektergebnisse. Erkenntnisse und Weiterentwicklungen aus SAVEnow sind auch in das Projekt Gaia-X eingeflossen.



Abbildung 6: Stadtmodell des Marktplatzes in Grafing mit detailliertem Planungsmodell. Das rot eingefärbte Haus verdeutlicht ein Modell mit zusätzlich zu den Geodaten hinterlegten semantischen Informationen.

Für die Anwendungsfelder ALKS und Sensor bot es sich an, mit dem Visualisierungsinstrument VC Map von VCS Voranalysen durchzuführen, um verschattete Bereiche und deren Einfluss auf die Anwendungen zu untersuchen. Im Testfeld Grafing waren bereits Vegetationsobjekte im Straßenraummodell hinterlegt (Abbildung 7), mit denen solche Einflüsse aus dem 3D-Umfeld analysiert wurden.

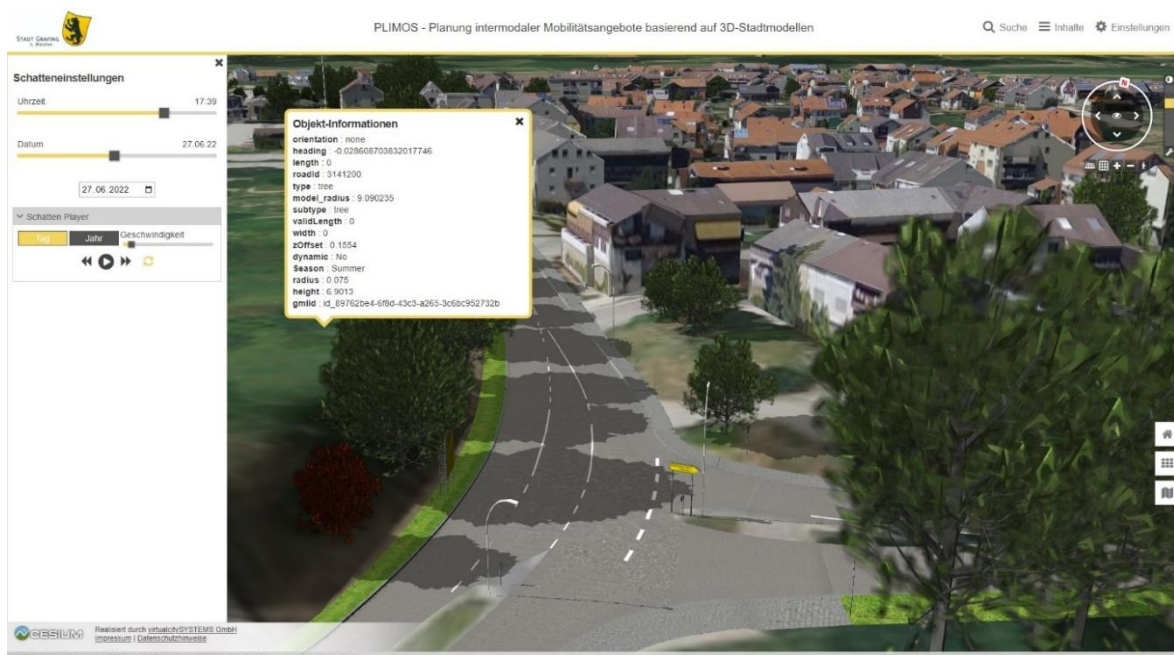


Abbildung 7: Abbildung von Bäumen und Schatten im Stadtmodell, um den Einfluss des 3D-Umfeldes (Schatten) auf ALKS zu untersuchen

Das Digital-Geo-Twin-Konzept von GAIA-X wurde weiter adaptiert und mit Funktionen angereichert. In diesem Zusammenhang hat VCS im Projekt SAveNoW (digital twin for safe & sustainable mobility) Sensorinformationen aller Verkehrszählschleifen in Ingolstadt in die VC Map integriert (Abbildung 8).



Abbildung 8: Sensorinformation einer Verkehrszählschleife an der Kreuzung Hindenburgstraße – Ringlerstraße in Ingolstadt

Das Hosting für das Projekt SAveNoW (digital twin for safe & sustainable mobility) wird nach Projektende für ein weiteres Jahr von VCS übernommen. Die Anwendung dient als Musterbeispiel für die Integration von Fachdaten aus unterschiedlichen Anwendungsdomänen. So werden Straßenraumdaten zusammen mit Umgebungsdaten (Gebäude, Vegetation, Stadtmöblierung) in einer Anwendung zusammengeführt und somit für übergreifende Analysen (Verkehrssimulation, Lärmausbreitung, Umweltbelastung) bereitgestellt (Abbildung 9). In Absprache mit dem Lehrstuhl für Geoinformatik an der Technischen Universität München (TUM) wird die Kartenanwendung als „Leuchtturm-Anwendung“ in Zukunft von der TUM gehostet und gepflegt.



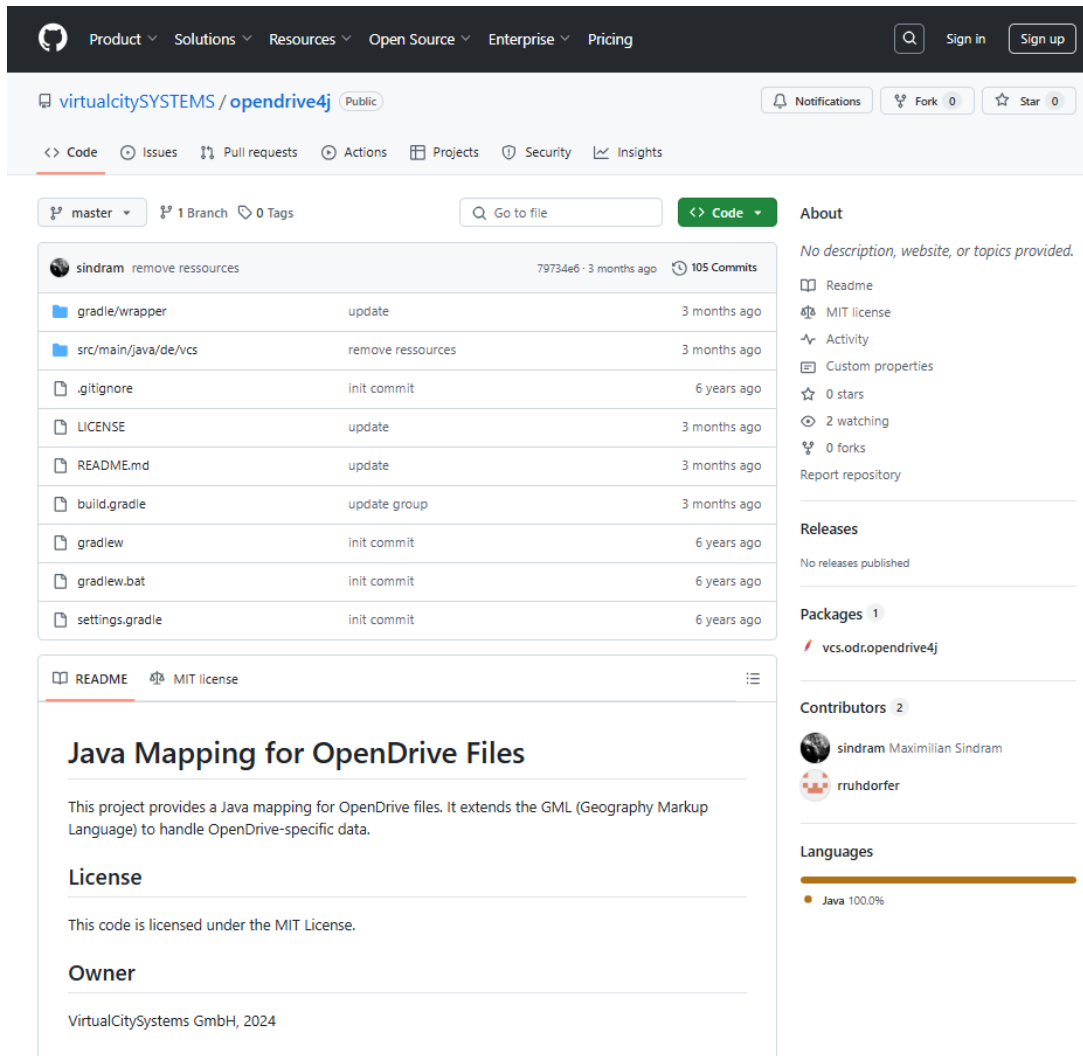
Abbildung 9: Virtuelles Regionsmodell Ingolstadt mit OpenDRIVE-Komponenten

Das Digital-Geo-Twin-Konzept von VCS wurde angereichert und mit den Beiträgen der Partner 3DMS und TrianGraphics, die im Cluster vorrangig für die Modellbereitstellung zuständig waren, verzahnt. Ein konkreter Beitrag war die Harmonisierung der Datentransformation von 3DTiles in interne Visualisierungsformate von TrianGraphics. Außerdem hat VCS den Open Drive-Konverter in Teilen auf der Plattform github als open source bereitgestellt.

II.1.7 Betrieb und Pflege von Digitalen Zwillingen

VCS hat mit opendrive4j eine API entwickelt und unter der MIT-Lizenz als Open Source Projekt auf Github veröffentlicht⁶, mit der OpenDRIVE-Dateien geparkt und in einem Objektmodell in der Programmiersprache JAVA verarbeitet werden können (Abbildung 10). Dieses Modell bildet den kompletten OpenDRIVE-Datenstandard entsprechend den UML-Modellen ab und erweitert diesen um geometrische Objekte der Geography Markup Language (GML). opendrive4j ist die Basis, um parametrische OpenDRIVE-Modelle einzulesen und diese im Anschluss mit einem Konverter (siehe Abbildung 11) in eine flächenhafte Repräsentation umzuwandeln, welche in 3D-Webkarten verwendet werden kann.

⁶ <https://github.com/virtualcitySYSTEMS/opendrive4j>

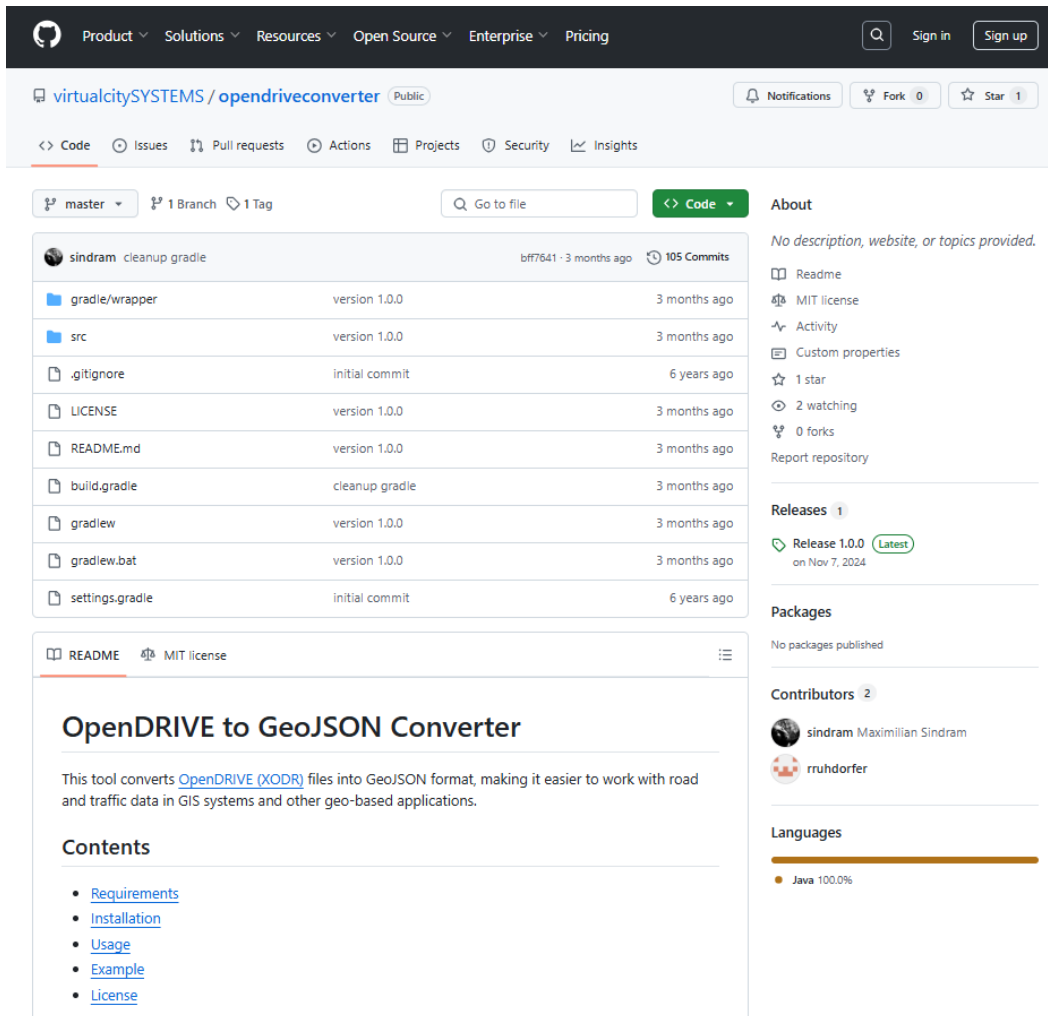


The screenshot displays the GitHub interface for the repository `virtualcitySYSTEMS/opendrive4j`. The repository is public and has 105 commits. The file list includes `gradle/wrapper`, `src/main/java/de/vcs`, `.gitignore`, `LICENSE`, `README.md`, `build.gradle`, `gradlew`, `gradlew.bat`, and `settings.gradle`. The README is open, showing the title **Java Mapping for OpenDrive Files**, a description: "This project provides a Java mapping for OpenDrive files. It extends the GML (Geography Markup Language) to handle OpenDrive-specific data.", the license (MIT), and the owner (VirtualCitySystems GmbH, 2024). The right sidebar shows repository statistics: 0 stars, 2 watching, 0 forks, and 1 package (`vcs.odr.opendrive4j`). Contributors listed are `sindram` (Maximilian Sindram) and `rruhdorfer`. The languages section shows Java at 100.0%.

Abbildung 10: Von VCS entwickelte API `opendrive4j`

Mit dem OpenDrive-Konverter werden die parametrischen Modelle (Polynomfunktionen) in flächenhafte Repräsentationen (Polygone) umgewandelt und über eine Georeferenz lokal verortet. Die umgewandelten Modelle werden im Dateiformat GeoJSON exportiert. Somit können Vorschauansichten von Straßendaten (OpenDRIVE) in einem Marketplace visualisiert werden. Der OpenDRIVE-Konverter wurde ebenfalls auf Github veröffentlicht⁷.

⁷ <https://github.com/virtualcitySYSTEMS/opendriveconverter>



The screenshot shows the GitHub interface for the repository 'virtualcitySYSTEMS / opendriveconverter'. The repository is public and has 105 commits. The file list includes:

File	Commit Message	Time Ago
gradle/wrapper	version 1.0.0	3 months ago
src	version 1.0.0	3 months ago
.gitignore	initial commit	6 years ago
LICENSE	version 1.0.0	3 months ago
README.md	version 1.0.0	3 months ago
build.gradle	cleanup gradle	3 months ago
gradlew	version 1.0.0	3 months ago
gradlew.bat	version 1.0.0	3 months ago
settings.gradle	initial commit	6 years ago

The README content is as follows:

OpenDRIVE to GeoJSON Converter

This tool converts [OpenDRIVE \(XODR\)](#) files into GeoJSON format, making it easier to work with road and traffic data in GIS systems and other geo-based applications.

Contents

- [Requirements](#)
- [Installation](#)
- [Usage](#)
- [Example](#)
- [License](#)

Abbildung 11: Von VCS entwickelter OpenDrive-Konverter

II.1.8 Bereitstellung ODD und Umfelddaten

VCS stellte im Projekt virtuelle Umgebungsmodelle auf Basis des GAIA-X-ODDE (Open Distributed Data Ecosystem) bereit. Für Geodatenmodelle wurden GAIA-X-Konnektoren definiert. Sie dienen als Schnittstelle, um Daten in der GAIA-X-Struktur bereitzustellen.

VCS hat den Partnern Umgebungsmodelle zum Testfeld Grafing zur Verfügung gestellt, um damit Anwendungsfälle durchzuspielen. Das komplette Testfeld wurde in das Format GeoJSON übertragen, um eine Vorschau im Marketplace zu ermöglichen. Weiterhin wurden virtuelle Umgebungsmodelle für 3D Mapping Solutions und TrianGraphics bereitgestellt.

Für die automatische Erzeugung von GeoJSON aus OpenDRIVE-Daten hat VCS eine Pipeline (Abbildung 12) realisiert. Dazu wird der Open-Drive-Konverter verwendet. VCS hat diesen als Open Source verfügbar gemacht.

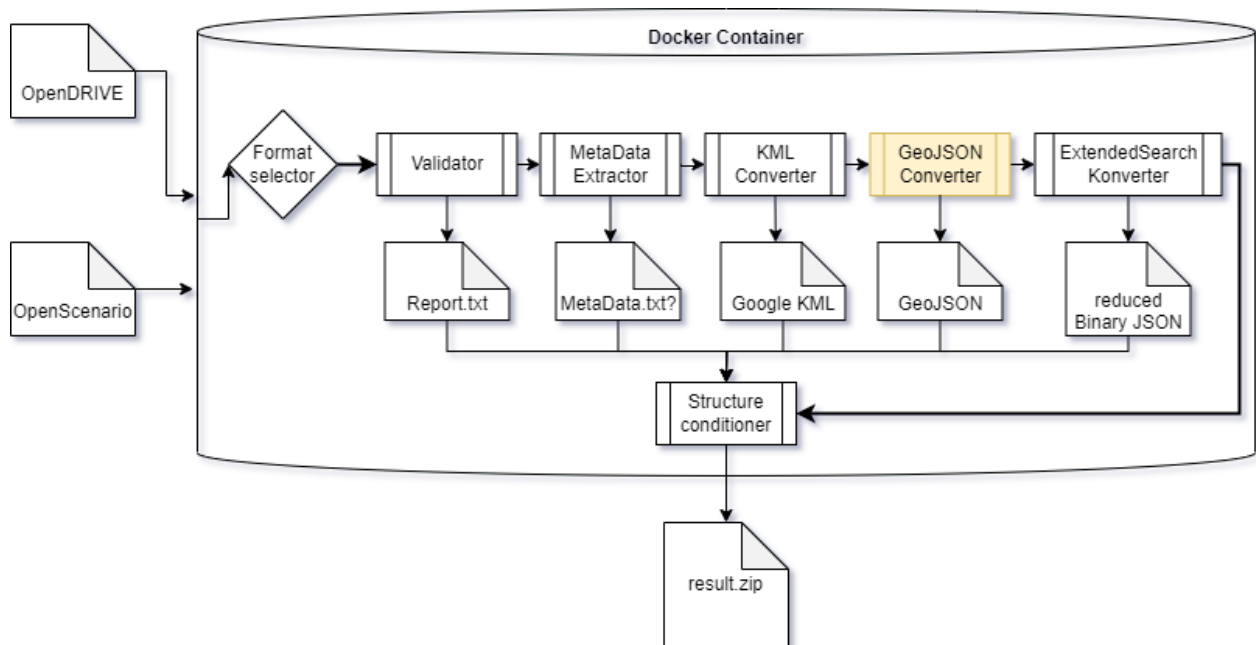


Abbildung 12: Verwendung des Open-Drive-Konverters für die automatische Erzeugung von GeoJSON aus OpenDRIVE-Daten

In enger Zusammenarbeit mit der Firma 3D-Mapping Solutions wurde die 3D-Web-Kartentechnologie von VCS in die Roadview-Software von 3D-Mapping Solutions integriert. Die virtuellen Teststrecken Grafing wurden mit weiteren Features des hochauflösenden Umgebungsmodells angereichert.

Für Pilotanwendungen wurden Umgebungsmodelle als Cloud-Service bereitgestellt, die mit Metadaten für die Verifizierung und Zertifizierung angereichert sind. VCS hat die Modelldaten für das Testgebiet in Grafing bereitgestellt.

Im laufenden Normungsverfahren für die DIN SPEC 91607 zu Urbanen Digitalen Zwillingen arbeitet das Konsortium unter Beteiligung von VCS an einer Übersicht an Anwendungsfällen und Best Practices, die auch Mobilitätsanwendungen einschließen. Erkenntnisse aus dem Projekt fließen in die Diskussion der Normungsgruppe ein. Die Arbeiten zur Din SPEC wurden abgeschlossen und die Veröffentlichung erfolgte im Dezember 2024 angestrebt.

Die neue DIN-Spezifikation „Digitaler Zwilling für Städte und Kommunen“ (DIN SPEC 91607) ist in einem Konsortium aus über 30 Partnern aus Kommunen, Industrie und Wissenschaft unter der Mitwirkung von virtualcitySYSTEMS erarbeitet worden und definiert klare Anforderungen an Datenmodelle, Schnittstellen und Prozesse, die für die Erstellung und Nutzung von Digitalen Zwillingen im urbanen Raum. Geoinformationssysteme bilden die technologische Basis für die Erstellung und Nutzung eines Urbanen Digitalen Zwillinges nach DIN SPEC 91607. Sie ermöglichen die Integration, Analyse und Visualisierung der relevanten Geodaten und bilden ein mächtiges Werkzeug für die digitale Transformation von Städten und Kommunen.

Seit der Gründung von virtualcitySYSTEMS vor knapp 20 Jahren sind Open Source Software und offene Standards und Schnittstellen Teil der Firmenphilosophie und Firmen-DNA. Dr. Claus Nagel, CTO von virtualcitySYSTEMS, ist Co-Editor des Standards CityGML und seit 2008 auch als Co-Chair der CityGML Standards Working Group beim OGC wesentlich in die Entwicklung von CityGML eingebunden (<https://vc.systems/erkunden/fachartikel/citygml/>).

CityGML ist der offene und international anerkannte Standard für semantische 3D-Stadtmodelle, auch City Information Model (CIM) genannt. Wesentlich für VCS ist, dass Urbane Digitale Zwillinge modular gedacht und aufgebaut sind und dabei auf offenen Standards und Schnittstellen basieren. So können einzelne Module bzw. Anbieter getauscht werden und es entsteht kein Vendor-Lockin. Dies erlaubt den Einsatz von open source Software, aber auch von closed-source-Komponenten. Da der Kunde meist ein professionelles Softwaretool mit Wartung und Support verlangt, kommt oft eine Mischung aus beiden Welten zum Einsatz. Essenziell bei open source Projekten wie der VC Map ist die Community, die diese Projekte trägt, verwaltet, pflegt und weiterentwickelt.

In einem anderen Projekt von VCS entstand in Zusammenarbeit mit der Firma LiangDao ein Prototyp für die Stadt Wuppertal, in dem eine Kreuzungssensorik den Verkehr erfasst und die Sensordaten live über eine standardisierte Schnittstelle zur Verfügung gestellt werden (Abbildung 13), sodass die von der Sensorik erfassten Verkehrsbewegungen und -teilnehmer in nahezu Echtzeit live in der interaktiven Web-Karte angezeigt werden. Dies gibt Entscheidungsträgern ein realitätsnahes Bild über das reale Verkehrsgeschehen und kann so als Grundlage für den Einsatz von Steuer- und Leitsystemen dienen. Der Prototyp wurde DSGVO-konform entwickelt. Für das GAIA-X-Projekt war die Kombination der Sensorik mit dem Umgebungs- und dem Straßenraummodell von Interesse, so dass Erkenntnisse zur Datenintegration, die möglichst automatisiert ablaufen soll, genutzt werden konnten. Die Sensordaten werden über ein MQTT-Protokoll bereitgestellt. Ein Roll-out des Prototyps für das Stadtgebiet Wuppertal wurde angestrebt, kam aber bislang nicht zur Umsetzung.



Abbildung 13: Prototyp Wuppertal zur Echtzeiterfassung und -visualisierung des Kreuzungsverkehrs, der zusammen mit der Firma LiangDao erstellt wurde

Für den Messeauftritt der Firma INYO Mobility auf den Wiener Elektrotagen 2024⁸ wurde ein Live-Monitoring für das autonome Shuttle-Fahrzeug auf Basis der Festlegungen des Projekts entwickelt (Abbildung 14). Das Live-Monitoring wurde über ein Plugin als Ergänzung der VC Map umgesetzt und ermöglicht die Live-Daten-Integration.

⁸ <https://www.stadt-wien.at/veranstaltungen/wiener-elektro-tage.html>

Für die Plugin-Entwicklung zur Live-Daten-Anzeige aus dem INYO-Fahrzeug wurden die Daten über eine Schnittstelle der FH Augsburg bereitgestellt, eingelesen und verarbeitet und auf Basis eines entwickelten Anzeigekonzepts in der VC Map visualisiert. Zudem zeigt Abbildung 14 das Matching aus einer Punktwolke aus der Fahrzeugsensorik mit dem semantischen Stadtmodell.



Abbildung 14: Live-Monitoring für das autonome Shuttle-Fahrzeug der Firma INYO Mobility

II.1.7 Fazit

Im Projekt GAIA-X wurden komplexe Fragestellungen mit teilweise enorm hohen Anforderungen und einem großen Maß an Heterogenität unter den Akteuren bearbeitet. Die verfolgten Ideen und Umsetzungsansätze haben größtenteils ihre Sinnhaftigkeit bewiesen. Es wurden maßgebliche Grundlagen für den Einsatz von Datenräumen und Ökosystemen für zukunftsweisende Simulationsanwendungen auf Basis der europäischen GAIA-X-Initiative geschaffen.

Die Projektziele, Digitale Zwillinge aus der Sicht von digitalen, georeferenzierten 3D-Stadtmodellen für die automatisierte Fahrfunktion zu ergänzen sowie Schnittstellen für 3D-Umgebungsmodelle zum GAIA-X Daten- und Dienste-Ökosystem zu entwickeln, wurden größtenteils erreicht. Dazu zählen u.a. Pilotanwendungen, wie z.B. das Testfeld Grafing in der Arbeitsgruppe der Data-Provider, sowie Transferprojekte u.a. mit LiangDao und INYO, die eine wechselseitige Bereicherung darstellten. Die Pilotanwendungen dienen als Grundlage für die Entwicklung des Metadatenkatalogs sowie zur Erörterung von Anforderungen, Prozessen und Zuständigkeiten. Die Umgebungsmodelle dienen den Projektpartnern als Grundlage zur Schaffung von Simulationslandschaften für die Use Cases „Adaptive Lane Keeping System (ALKS) PLC“ und „Sensor PLC“. Außerdem ist eine Nutzung von modernen Blended-Learning-Konzepten für die Schulung von Urbanen Digitalen Zwillingen aus dem Projekt hervorgegangen.

Mit weiteren Aktivitäten hat VCS wertvolle Beiträge für die Standardisierung und Normung im äußerst dynamischen Bereich der Urbanen Digitalen Zwillinge geleistet, die als zentrale Projektergebnisse gesehen werden können:

- Als Mitglied des ASAM e.V. (Association for Standardisation of Automation and Measuring Systems) wirkte VCS an der Standardisierung des OpenDRIVE-Formats mit, das auch im GAIA-X-Projekt eine zentrale Rolle spielte. VCS engagierte sich schwerpunktmäßig in Projekten zum Area Model, der 3D-Modellierung des Straßenraums, wie er auch im vorliegenden Projekt im Fokus stand.
- Bei der Entwicklung von Stadt- und Straßenraummodellen unter Nutzung des CityGML-Standards arbeitete VCS mit der TU München zusammen. Während der Projektlaufzeit konnte die neue Version 3.0 des Standards veröffentlicht werden. Diese beinhaltet ein vollständig überarbeitetes Konzept zur semantischen Straßenraummodellierung in verschiedenen Detaillierungsstufen (Level-of-Detail). Der internationale OGC-Standard CityGML wird weltweit zur Repräsentation, zur Speicherung und zum Austausch semantischer 3D-Stadtmodelle verwendet. Der Standard beinhaltet einen Erweiterungsmechanismus, mit dem zusätzliche, nicht ursprünglich enthaltene Konzepte formalisiert werden können (sog. Application Domain Extension (ADE)). Eine solche Erweiterung (ADE) wurde vom Lehrstuhl für Geoinformatik in Zusammenarbeit mit VCS entwickelt, um Konzepte des Standards OpenDRIVE in CityGML-Daten besser abbilden zu können. Über die Entwicklungspartnerschaft zur 3DCityDB entstand eine komplett neuartige Datenbankkomponente zum Speichern und Verwalten von Datensätzen im CityGML 3.0 Standard.
- Ferner hat sich VCS auch aktiv in die Erarbeitung der im Dezember 2024 veröffentlichten Din-Spec 91607 Digitaler Zwilling für Städte und Kommunen eingebracht und wird mit Dr. Claus Nagel und Dr. Stefan Trometer als Koautoren in der Autorenschaft genannt.

Die Fortschreibung der Standardisierung und Normung im Bereich der Urbanen Digitalen Zwillinge schafft die Grundlage für ein erhebliches Innovationspotential in den nächsten fünf Jahren.

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der Verwendungsnachweis des Teilvorhabens von VCS beinhaltet die Positionen Personalkosten, die für die Entwicklung Digitaler Zwillinge sowie die Weiterentwicklung der Standards CityGML und OpenDRIVE angefallen sind, Reisekosten für Besprechungen, und sonstige Kosten für externe Kommunikation (Project Management Office).

Abweichungen von der Gesamtvorkalkulation traten insofern auf, als dass etwas mehr Personalkosten und etwas weniger Reisekosten angefallen sind, als ursprünglich geplant.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Notwendigkeit der geleisteten Arbeit ergab sich aus der Arbeitsplanung. Die geleistete Arbeit war zum Erreichen der Ergebnisse notwendig.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Für die Use Cases „Adaptive Lane Keeping System (ALKS) PLC“ und „Sensor PLC“ hat VCS einen Weg aufgezeigt, um diverse Geodatenmodelle in die Anwendung zu bringen, konkret über die CESIUM Schnittstelle nach UNITY und UNREAL und von da aus in die Simulation mit CALRA. Die Expertise von VCS aus dem Bereich der Urbanen Digitalen Zwillinge ist in die Entwicklung des Datenraums und des Ökosystems eingeflossen.

Bei der Weiterentwicklung der Standards CityGML und OpenDRIVE wurden Fortschritte erzielt. VCS wirkte an der Standardisierung des OpenDRIVE-Formats mit und die

Arbeitsgruppe zum Area Modell in ASAM OpenDRIVE hat die Arbeit aufgenommen und trifft sich in regelmäßigen Abstimmungsrunden. Das Area Modell bezieht sich auf die Darstellung von Flächen innerhalb der Straßenumgebung, die über die reine Straßenkontur hinausgehen. Diese Flächen können beispielsweise Parkplätze, Fußgängerüberwege, Grünflächen oder bebaute Bereiche umfassen. Das Area Modell ist ein wichtiger Bestandteil, um eine realitätsnahe Simulation von Verkehrsszenarien zu ermöglichen, indem es zusätzliche Informationen über die Umgebung der Straße bereitstellt.

Die CityGML: Version 3.0 wurde mit Lane-Modell und semantischem Straßenraummodell komplett überarbeitet und ausdefiniert. Sie bildet nun die Grundlage für professionelle Mobilitätsanwendungen. Auch die 3DCityDB wurde für die Version 3.0 komplett überarbeitet. Im Projekt entstanden erste Testfelder für 3.0 Daten, die größtenteils wegen des Verkehrsraums und der Mobilitätsanwendungen motiviert waren.

Sowohl CityGML als auch OpenDRIVE sind domänenspezifische Datenstandards, die die Interoperabilität und semantische Beschreibung von sehr wichtigen und komplexen Daten im Bereich Geodaten, Stadtplanung und Mobilität/Autonomes Fahren sicherstellen.

Im Rahmen der europäischen GAIA-X-Initiative spielen diese Standards eine wichtige Rolle, da sie die Interoperabilität und den vertrauenswürdigen Austausch von spezifischen, komplexen Daten in wichtigen Domänen ermöglichen und dazu beitragen, eine souveräne, offene und vertrauenswürdige europäische Dateninfrastruktur zu schaffen.

II.5 Bekannt gewordene Fortschritte bei anderen Stellen

Fortschritte durch Dritte in Deutschland oder Europa sind uns nicht bekannt geworden.

II.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

Der VCS OpenDrive-Konverter sowie die API OpenDrive4J wurden auf Github als open source bereitgestellt, siehe

- <https://github.com/virtualcitySYSTEMS/opendriveconverter> (Konverter)
- <https://github.com/virtualcitySYSTEMS/opendrive4j> (API)

Keine direkte Veröffentlichung, aber ein erzielter Fortschritt für die öffentliche Nutzung stellt die Erweiterung der Standards OpenDRIVE und CityGML (Version 3.0 mit neuartigem semantischem Straßenraummodell usw.) dar sowie der 3DCityDB für die Unterstützung von CityGML 3.0. Außerdem ist die neue DIN-Spezifikation „Digitaler Zwilling für Städte und Kommunen“ (Din Spec 91607) in einem Konsortium aus über 30 Partnern aus Kommunen, Industrie und Wissenschaft unter der Mitwirkung von VCS erarbeitet worden.

Im Projekt TwinBy wurde ein Qualifizierungsprogramm entwickelt, das auf einem modernen blended-learning-Konzept aufbaut. Diese Formate sind auf die Anforderungen aus GAIA-X übertragbar. Die aktuellen Erkenntnisse aus dem Projekt fließen in den Zertifikatskurs „Digital Twins für Städte“ der TU München ein. Die Themen sind Gegenstand von Webinar-Veranstaltungen.

Für den Messeauftritt der Firma INYO Mobility auf den Wiener Elektro Tagen 2024 hat VCS ein Live-Monitoring für das autonome Shuttlefahrzeug auf Basis der Festlegungen des Projekts entwickelt. Die Wiener Elektro Tage am Heldenplatz verschaffen einen einmaligen Überblick über E-Auto- und E-Bike-Neuheiten, innovative Ladelösungen usw. Es finden Präsentationen, Beratung, Talkrunden und unterhaltsame Live-Acts statt.