

Holistisches Datenmanagement für georeferenzierte Bahn- und Straßeninfrastrukturdaten

Holistic data management for georeferenced railway and road infrastructure data

Sangeetha Shankar | Akhil Jayant Patil | Julia Heinbockel

Wir stellen ein Tool vor, das für den End-to-End-Datenverwaltungsprozess für Eisenbahn- und Straßeninfrastrukturdaten entwickelt wurde. Nach dem Überblick über die Notwendigkeit eines solchen Tools konzentrieren wir uns auf die Architektur des Tools und fahren mit den Details der verschiedenen Schichten und Komponenten fort. Wir gehen auch auf Eingabe-/Ausgabeschnittstellen, Anwendungen und Anwendungsfälle des Tools ein und beschreiben die Verbindung jeder Toolkomponente mit verschiedenen Prozessen der Datenverwaltung. Am Ende teilen wir unsere Erkenntnisse über die Zukunft dieses Tools.

1 Einleitung

Ein System, das aktuelle Informationen über die Verkehrsinfrastruktur und deren Zustand enthält, trägt wesentlich zur Instandhaltung der Verkehrsnetze und zur Gewährleistung eines kontinuierlichen Betriebs bei. Das Institut für Transportsysteme (TS) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) arbeitet an Technologien für den intermodal vernetzten und automatisierten Verkehr der Zukunft auf Straße und Schiene. Es werden große Mengen an Daten aus verschiedenen Teilen Deutschlands sowie aus anderen Ländern gesammelt, was zu einer ständig wachsenden Datenmenge führt. Diese Datensätze umfassen statische und semistatische Informationen wie Topologie eines Netzes, die Infrastrukturelemente im Netz und deren Zustand sowie dynamische Daten wie Multisensordaten und Trajektorien von Fahrzeugen, die in verschiedenen Forschungsprojekten verwendet werden. Daraus ergibt sich ein steigender Bedarf an nachhaltigem Management der rohen und verarbeiteten Datensätze, um sie im Laufe der Zeit für Forschende innerhalb des DLR und anderen Interessengruppen wie Projektpartner, Förderorganisationen und die Öffentlichkeit auffindbar, zugänglich, interoperabel und wiederverwendbar (FAIR) [1] zu machen. Dieser Beitrag befasst sich mit dem Thema der ganzheitlichen Verwaltung der oben genannten Datensätze durch die Entwicklung eines Systems namens „Transportation Infrastructure Data Platform“ (TRIDAP). Dieses System ermöglicht die Speicherung, Analyse und gemeinsame Nutzung von Daten auf eine FAIR-kompatible Weise. Die Plattform wird mit Open-Source-Software eingerichtet und bezieht sich auf Richtlinien für die FAIR-Implementierung, wie sie vom DLR und der Helmholtz Metadata Collaboration [2] bereitgestellt werden. DLR-TS entwickelt diese Plattform aktiv weiter, finanziert durch das bereichsübergreifende Projekt „Digitaler Atlas 2.0“. Das System zielt darauf ab, die FAIR-konforme Verwaltung von Datensätzen und deren Metadaten aus verschiedenen Quellen zu unterstützen und (halb-)automatisierte Pipelines zum Importieren, Verarbeiten, Validieren und Exportieren von Daten in verschiedene standardisierte offene Datenformate bereitzustellen. Die

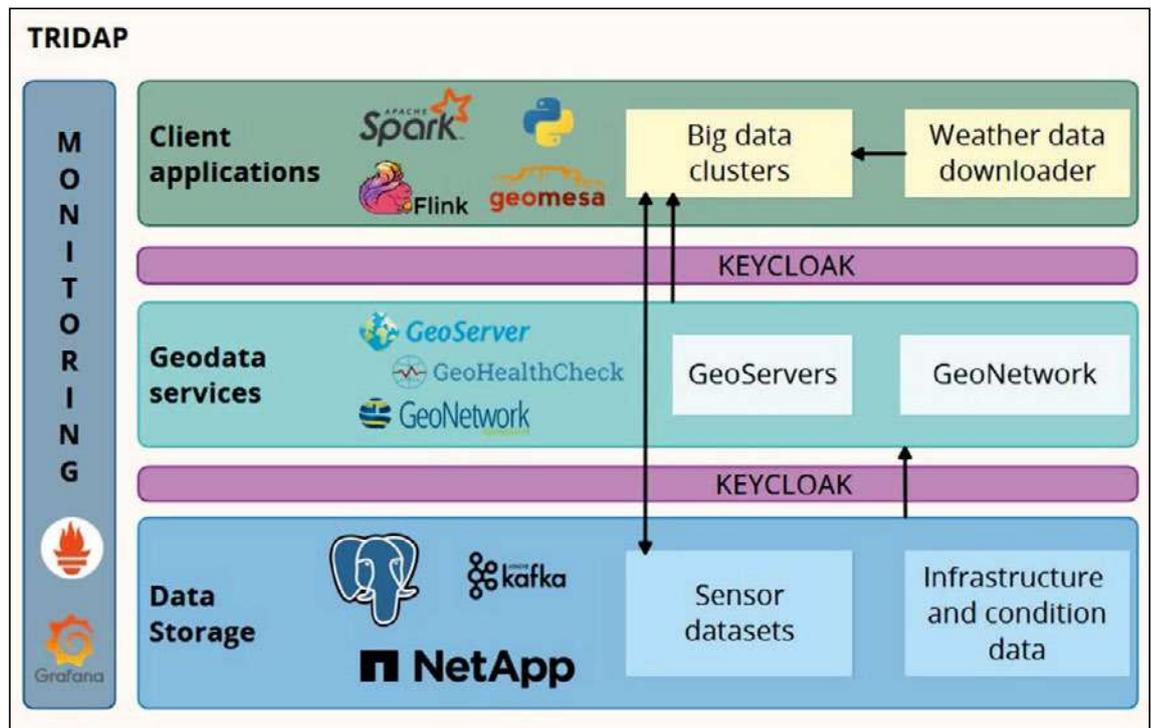
This article introduces a tool that has been developed for the end-to-end data management process for railway and road infrastructure data. We begin with an overview of the need to implement and have such a tool at our disposal. We then focus on the tool’s architecture and proceed with the details pertaining to the different layers and components inside it. We also touch on the tool’s input/output interfaces, applications and use cases and describe how each tool component connects to different data management processes. In the conclusion, we share our insights on the tool’s future.

1 Introduction

A system containing current information on the transportation infrastructure and its condition can contribute significantly to the maintenance of transportation networks and to ensuring continuous operations. The Institute of Transportation Systems (TS) at the German Aerospace Center (DLR) is working on technologies aimed at connected and automated intermodal transport on the road and rail systems of the future. Large amounts of data are being collected from different parts of Germany as well as other countries, resulting in an ever-growing amount of data. These datasets include static and semi-static information such as the topology of the transportation network, the infrastructure elements in the network and their conditions as well as dynamic data such as multi-sensor data and the trajectories of the vehicles that are used in the various research projects. This has led to a rising need for the sustainable management of the raw and processed datasets in order to make them Findable, Accessible, Interoperable and Reusable (FAIR) [1] over time to the researchers within the DLR and any other stakeholders such as the project partners, funding organisations and the public.

This article addresses the topic of the holistic management of the aforementioned datasets through the development of a system called the “Transportation Infrastructure Data Platform” (TRIDAP). This system enables the storage, analysis and sharing of data in a FAIR-compatible manner. The platform is set-up using open-source software, while referring to the guidelines for FAIR implementation such as those provided by the DLR, as well as the Helmholtz Metadata Collaboration [2]. The DLR-TS is actively developing this platform with funding from the “Digitaler Atlas 2.0” cross-domain project. The system aims to support the FAIR-compliant management of datasets and their metadata acquired from several sources and to provide (semi-) automated pipelines to import, process, validate and export the data to various standardised open data formats. The platform is

Bild 1: TRIDAP-Systemarchitektur
 Fig. 1: The TRIDAP system architecture
 Quelle/Source: DLR-TS



Plattform wird in enger Zusammenarbeit mit ihren Nutzern entwickelt, um deren Bedürfnisse so präzise und schnell wie möglich zu erfüllen.

2 Systemarchitektur

Das TRIDAP-System besteht aus fünf Schichten, von denen jede aus etablierter Open-Source-Software besteht (Bild 1).

2.1 Datenspeicherung

Die Datenspeicherungsschicht besteht aus drei Software-Artefakten: (i) PostgreSQL-Datenbank – eine relationale Datenbank, in der wir die georeferenzierten Datensätze in mehreren Tabellen speichern; (ii) Apache Kafka – eine Daten-Streaming-Plattform, die wir hauptsächlich für die Speicherung von Live-Daten aus dem Feld verwenden; (iii) NetApp-Speicher – ein dateibasiertes Speichersystem, in dem wir sowohl Offline-Daten als auch nicht georeferenzierte Daten speichern. Die Verkehrsinfrastruktur-Datensätze werden je nach Art und Inhalt in einem dieser Speicher persistiert.

2.2 Geodatendienste

Die Schicht der Geodatendienste enthält ebenfalls drei Komponenten: (i) GeoServer – eine Anwendung zur Bereitstellung der Daten aus der Datenspeicherungsschicht über standardisierte Schnittstellen; (ii) GeoNetwork – eine Kataloganwendung, die die Daten zusammen mit den relevanten Metadaten veröffentlicht; (iii) GeoHealthCheck – eine Anwendung zur Überprüfung der Verfügbarkeit und Funktionsfähigkeit der vom GeoServer angebotenen Schnittstellen. Insgesamt stellt diese Schicht die kontinuierliche Bereitstellung von Daten und Metadaten für die Nutzer des Systems sicher.

2.3 Client-Anwendungsschicht

Die Client-Anwendungsschicht kann aus einer Reihe von Anwendungen bestehen, die verschiedene Technologien verwenden, um die im System gespeicherten Datensätze zu analysieren und zu verarbeiten. Einige Beispiele finden sich in Bild 1. Ein Big Data-Cluster,

being developed in close collaboration with its users, so as to be able to address their needs as precisely and quickly as possible.

2 The system architecture

The TRIDAP system consists of five layers, each of them comprising well-established open-source software as shown in fig. 1.

2.1 Data storage

The data storage layer consists of three software artefacts: (i) the PostgreSQL database – a relational database, where we store the georeferenced datasets in several tables; (ii) Apache Kafka – a data-streaming platform, which we mainly use for storing live data from the field; (iii) NetApp storage – a file-based storage system, where we store offline data as well as any non-georeferenced data. The transportation infrastructure datasets are stored in one of these storage systems according to their nature and contents.

2.2 Geodata services

The geodata services layer also contains three components: (i) GeoServer – an application for the provision of the data from the data storage layer using standardised interfaces; (ii) GeoNetwork – a catalogue application which publishes the data along with any relevant metadata; (iii) GeoHealthCheck – an application to check the availability and functioning of the interfaces offered by GeoServer. Altogether, this layer ensures the continuous provision of data and metadata to the system users.

2.3 Client applications

The client applications layer may consist of a number of applications that use diverse technologies in order to analyse and process the datasets stored in the system. Some examples are included in fig. 1. A big data cluster consisting of stream and batch processing applications such as Apache Flink and Apache Spark is included in the system. This cluster has been operational since

Autoren-Belegexemplar, Frau Shankar, DLR. Weitergabe an Dritte urheberrechtlich untersagt.

bestehend aus Stream- und Batch-Verarbeitungsanwendungen wie Apache Flink und Apache Spark, ist Teil des Systems. Dieser Cluster ist seit 2018 in Betrieb und wurde in [3] und [4] ausführlich beschrieben. Darüber hinaus befindet sich ein Wetterdaten-Downloader in der Entwicklung, mit dem Wetterdaten aus verschiedenen Quellen heruntergeladen und bei der Datenanalyse mit der Infrastruktur und den Sensormessdaten verschmolzen werden können.

2.4 Monitoring

Die Überwachungsschicht besteht aus zwei Softwarepaketen: (i) Prometheus, ein Framework zur Überwachung verschiedener Komponenten des Systems und zur Speicherung von Metriken zu deren Status und Leistung; (ii) Grafana, ein Visualisierungstool, mit dem die von Prometheus gespeicherten Metriken visualisiert werden.

2.5 Benutzerverwaltung

Für die zentralisierte Authentifizierung von Benutzern wird Keycloak aufgesetzt und konfiguriert, wenn die Nutzer die vom System angebotenen Daten und Dienste nutzen. Da dies noch konfiguriert wird, werden Benutzer und Rollen auch in jeder Komponente des Systems einzeln definiert.

3 Speicherung, Verarbeitung und gemeinsame Nutzung von Daten

Straßeninfrastruktur- und Eisenbahninfrastrukturdaten werden aus verschiedenen Quellen in eine zentralisierte Datenbank importiert. Das Datenbankschema besteht aus mehr als 100 Tabellen, die sich auf folgende fünf Grundschemaschemata verteilen:

- system – Die Tabellen im Systemschema enthalten Metadaten wie die Sprachen, in denen die Daten in der Datenbank gespeichert werden können, und eine Liste der Zeitzonen aus der Zeitzonendatenbank. Informationen über alle Einfügungen, Aktualisierungen und Löschungen von Daten werden hier gespeichert, um die Nachverfolgung von Änderungen sowie die Rückgängigmachung unbeabsichtigter Änderungen zu ermöglichen.
- user – Die Tabellen im Benutzerschema enthalten Informationen über die Benutzer der Anwendungen, die die Datenbank verwenden. In diesem Schema werden Informationen über den Namen der Benutzer, die Organisationen, für die sie arbeiten, und ihre Kontaktinformationen gespeichert.
- net – Die Tabellen im Netzschema enthalten ein Knoten-Kanten-Modell des Verkehrsnetzes. In diesem Schema werden auch Informationen über die Navigierbarkeit zwischen den Kanten gespeichert. Ebenso sind auch Metadaten wie der Namen des Netzes, Knoten und Kanten in mehreren Sprachen und die für die Verwaltung der Verkehrsinfrastruktur zuständigen Organisationen enthalten. Eltern-Kind-Beziehungen zwischen den verschiedenen Netzwerken werden ebenfalls unterstützt.
- infra – Die Tabellen im infra-Schema enthalten detaillierte Informationen über die Straßen- und Eisenbahninfrastruktur, wie z.B. Signale, Bahnübergänge, Gleise, Bahnhöfe für den öffentlichen Nahverkehr usw. Die Arten von Eisenbahninfrastrukturelementen, die vom Schema unterstützt werden, basieren auf railML Version 3.1.
- data – Die Tabellen im Datenschema unterstützen die Speicherung von Daten, die von verschiedenen Fahrzeugen und Messgeräten stammen. Diese Tabellen enthalten auch Informationen über den Zustand der Straßen- und Eisenbahninfrastruktur. Metadaten zu den Tools und Anwendungen für den Import der Daten in die Datenbank sowie eine vordefinierte Liste von Messparametern und Maßeinheiten verbessern die Interoperabilität und Wiederverwendbarkeit der Daten.

2018 and has been explained in detail in [3] and [4]. In addition to this, a weather data downloader, which can be used to download weather data from different sources and fuse them with the infrastructure and sensor measurement data during data analysis, is currently under development.

2.4 Monitoring

The monitoring layer consists of two pieces of software: (i) Prometheus, a framework to monitor various system components and store their statuses and performance metrics, and (ii) Grafana, a visualisation tool, where the metrics stored by Prometheus are visualised.

2.5 User management

Keycloak is deployed for the centralised user authentication and configured to activate whenever they use the data and services offered by the system. As this is still being configured, the users and roles are also defined individually in each system component.

3 Data storage, processing and sharing

Road and railway infrastructure data is imported from various sources into a centralised database. The database schema consists of more than 100 tables divided among five basic schemas:

- system – the tables present in the system schema contain metadata such as the languages in which data can be stored in the database and a list of time zones from the time zone database. Information on all the data insertions, updates and deletions made in the data is stored here in order to enable change tracking as well as the reversal of any unintended changes.
- user – the tables present in the user schema contain information on the users of the applications that utilise the database. They store information on the users' names, the organisations they work for and their contact information.
- net – the tables present in the net schema contain a node-edge model of the transportation network. Information on the navigability between the edges is also stored in this schema. It also contains metadata such as the names of the network, node and edges in multiple languages and the organisations responsible for the management of the transportation infrastructure. Parent-child relationships among the different networks are also supported.
- infra – the tables present in the infra schema contain detailed information on the road and railway infrastructure, such as signals, level crossings, railway tracks, public transportation stations and so on. The types of railway infrastructure elements supported by the schema are based on railML version 3.1.
- data – the tables present in the data schema support the storage of the data acquired from several vehicles and measurement devices. These tables also contain information on the condition of the road and railway infrastructure. Metadata on the tools and applications used to import the data into the database as well as a predefined list of measurement parameters and units of measurement improve the interoperability and reusability of the data.

All the datasets stored in the database use a common space and time reference frame – WGS84 and UTC respectively. Infrastructure data can be imported into the database using importers. We have recently started using controlled vocabularies, for example for infrastructure types and measurement pa-

Alle in der Datenbank gespeicherten Datensätze verwenden einen gemeinsamen Raum- und Zeitreferenzrahmen – WGS84 und UTC. Infrastrukturdaten können mithilfe von Importern in die Datenbank importiert werden. Um die Auffindbarkeit und Interoperabilität der Daten zu verbessern, wurde vor Kurzem damit begonnen, z. B. für Infrastrukturtypen und Messparameter kontrollierte Vokabulare zu verwenden. Der Import von Daten aus OpenStreetMap (OSM), railML und INSPIRE wird derzeit unterstützt. Damit auch Infrastrukturdaten aus nicht standardisierten Formaten importiert werden können, wird auch ein generisches Importtool entwickelt. Ausgewählte Datensätze werden anhand von benutzerdefinierten Validierungsregeln validiert, während sie in der Datenbank gespeichert werden.

Zusätzlich werden große Mengen an Multisensordaten von mehreren Fahrzeugen im Feld gesammelt. Diese Datensätze werden im HDF5-Datenformat gespeichert. Das Datenformat und das Datenmodell sind in [5] beschrieben. Diese Datensätze werden auf dem NetApp-Speicher gespeichert. Alle im System gespeicherten Daten werden in regelmäßigen Abständen gesichert, um Datenverluste zu vermeiden.

Die im System gespeicherten georeferenzierten Datensätze werden über den GeoServer verfügbar gemacht. Dazu werden die Daten auf dem GeoServer logisch in mehrere Ebenen geclustert und bilden so eine mehrschichtige digitale Karte. Bild 2 veranschaulicht dieses Konzept zusammen mit Beispielen von im System verfügbaren Datensätzen für jede Ebene. Jeder Datensatz im System ist ein Teil einer dieser Ebenen. Der GeoServer ist in der Lage, Daten in mehrere standardisierte Datenformate umzuwandeln. Die Benutzer können, während sie die Daten abrufen, auch das Koordinatenreferenzsystem definieren, und der GeoServer führt die Transformation on-the-fly durch.

4 Datenkatalog und Visualisierung

Die im System gespeicherten Datensätze werden in einem vom GeoNetwork bereitgestellten Geodatenkatalog dokumentiert, der Metadaten auf der Grundlage der Dublin Core- sowie der ISO 19115/119/110-Standards unterstützt. In unserer Implementierung wird die Dokumentation der Metadaten gemeinsam von den Dateneigentümern und den TRIDAP-Entwicklern vorgenommen. Dadurch wird sichergestellt, dass die Daten so detailliert wie möglich beschrieben werden, was wiederum die Wiederverwendbarkeit der Daten verbessert. Für die Datensätze, die sich in der Datenspeicherungsschicht befinden, werden beschreibende Metadaten wie der Name des Datensatzes, die Autoren,

parameters, to further improve the findability and interoperability of the data. Data imports from OpenStreetMap (OSM), railML and INSPIRE are currently supported. A generic importer tool is also being developed to enable the import of infrastructure data from non-standardised formats. Selected datasets are additionally validated based on user-defined validation rules while being stored in the database.

Furthermore, large amounts of multi-sensor data are also being collected from several vehicles in the field. These datasets are stored in the HDF5 data format. The data format and the data model are described in [5]. These datasets are stored in NetApp storage. All the data stored in the system is backed up at regular intervals in order to prevent any data loss.

The georeferenced datasets stored in the system are made available using GeoServer. The data is logically clustered into several layers on GeoServer, thus forming a multi-layer digital map. Fig. 2 illustrates this concept together with examples of the datasets available in the system for each layer. Each dataset in the system is a part of one of these layers. GeoServer is capable of transforming the data into multiple standardised data formats. The users can also define the coordinate reference system while requesting the data and GeoServer then performs on-the-fly transformation.

4 The data catalogue and visualisation

The datasets stored in the system are documented in a geodata catalogue provided by GeoNetwork that supports the metadata based on the Dublin Core and ISO 19115/119/110 standards. In our implementation, the metadata documentation is undertaken collaboratively by the data owners and the TRIDAP developers. This ensures that the data is described as detailed as possible, which in turn improves the reusability of the data. Descriptive metadata, such as the dataset name, the authors and the creation date, and geospatial metadata, such as the coordinate reference system and the spatial extents of the data, are documented for the datasets located in the data storage layer. Viewing restrictions are also added for sensitive data, thus making the metadata records visible only to a defined list of users. The infrastructure data stored in the system can be fetched using the standardised interfaces offered by GeoServer such as

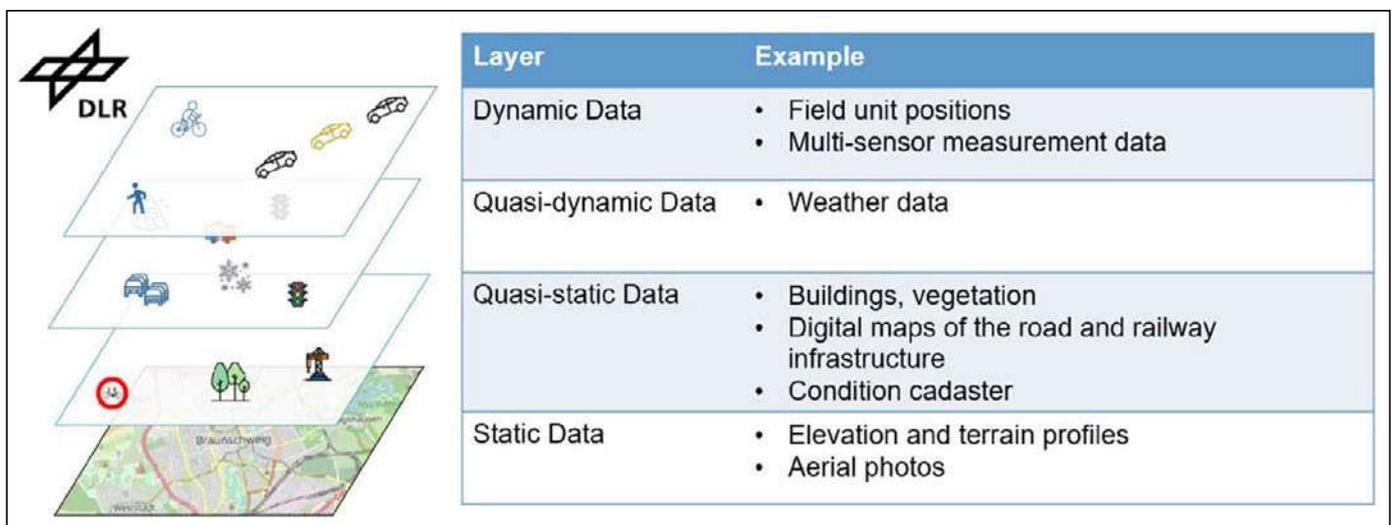


Bild 2: Mehrschichtige digitale Karte

Fig. 2: A multi-layered digital map

Quelle/ Source: DLR-TS

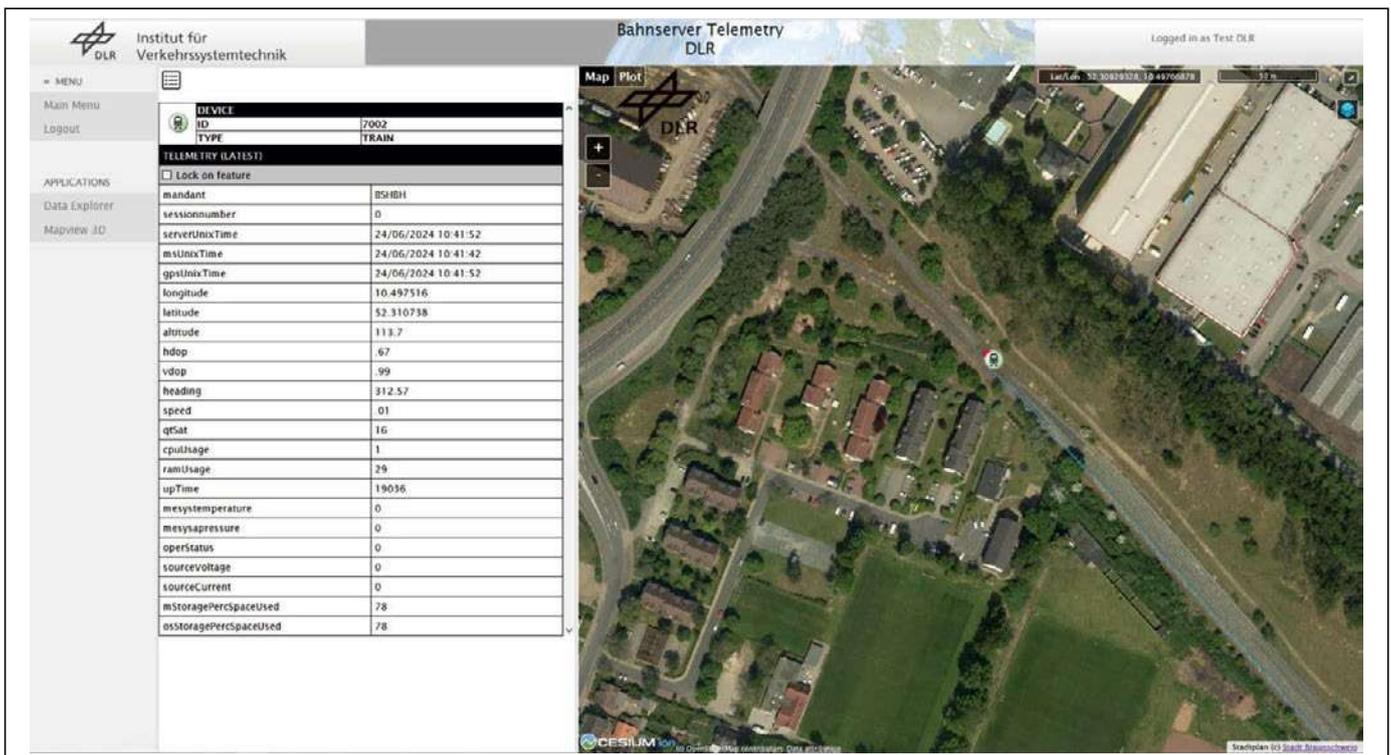


Bild 3: Screenshot der Visualisierung von Live-Daten in der Webanwendung

Fig. 3: A snapshot of the live data visualised in the web application

Quelle / Source: DLR-TS

das Erstellungsdatum sowie georäumliche Metadaten wie das Koordinatenreferenzsystem und die räumlichen Ausmaße der Daten dokumentiert. Für sensible Daten werden außerdem Anzeigebeschränkungen hinzugefügt, sodass die Metadatenätze nur für einen bestimmten Kreis von Benutzern sichtbar sind.

Die im System gespeicherten Infrastrukturdaten können über die vom GeoServer angebotenen standardisierten Schnittstellen wie Web Mapping Service (WMS) und Web Feature Service (WFS) abgerufen und in jeder Anwendung visualisiert werden, die mit den vom GeoServer un-

the Web Mapping Service (WMS) and the Web Feature Service (WFS) and visualised on any application that is capable of working with the standardised data formats supported by GeoServer. One widely used example is QGIS, where the data can be loaded directly from GeoServer and used for further analysis. Another visualisation tool used at the DLR-TS is the Bahnserver web application, which is used to visualise a digital map of the infrastructure together with its condition and live and historical measurement data. This application is described in detail

Ihre Innovationen für die **digitale Schiene** sind **jetzt** gefragt!
Präsentieren Sie Ihr Unternehmen zielgerichtet in SIGNAL+DRAHT.
Das international führende Fachmedium für die Leit-, Sicherungs- und Informationstechnologie.



Digitalisierung
OSTW
MOBILITÄT
ZUKUNFTSTECHNOLOGIE
AUTOMATISIERUNG
ILBS
ETCS
KÜNSTLICHE INTELLENZ

Ansprechpartnerin:
Silke Härtel

Tel.: +49 / 40 / 23714 - 227
Email: silke.haertel@dvvmedia.com

**Eurail
press**

terstützten standardisierten Datenformaten arbeiten kann. Ein weit verbreitetes Beispiel ist QGIS, darin können die Daten direkt vom GeoServer geladen und für weitere Analysen verwendet werden. Ein weiteres Visualisierungstool, das bei DLR-TS eingesetzt wird, ist die Webanwendung Bahnserver, mit der eine digitale Karte der Infrastruktur zusammen mit deren Zustand sowie Live- und historischen Messdaten visualisiert werden kann. Diese Anwendung wird in [6, 7] ausführlich beschrieben. Ein Screenshot der Visualisierung von Live-Daten ist in Bild 3 zu sehen. Die Daten werden in regelmäßigen Abständen automatisch aktualisiert, sodass der Benutzer in der Anwendung die neuesten verfügbaren Daten sieht. Darüber hinaus untersuchen wir derzeit auch die Verwendung von MapStore als allgemeines Visualisierungstool, mit dem jeder Nutzer ganz einfach eine neue Karte erstellen kann, indem er Schichten aus dem GeoServer zusammenstellt.

5 Fazit und zukünftige Entwicklungen

In diesem Beitrag wurde eine auf Open-Source-Software basierende Lösung für die Verwaltung von georeferenzierten Straßeninfrastruktur- und Eisenbahninfrastrukturdaten vorgestellt. Dieses System wird kontinuierlich weiterentwickelt und für viele laufende Projekte bei DLR-TS verwendet. Die Roadmap für die zukünftige Entwicklung von TRIDAP beinhaltet Experimente mit SensorML, um zusätzliche Metadaten zur Sensorkonfiguration zu speichern, die die im System gespeicherten Messdatensätze weiter anreichern und ihre Interoperabilität und Wiederverwendbarkeit verbessern werden. Außerdem arbeiten wir daran, den im System gespeicherten Datensätzen universell eindeutige und dauerhafte Identifikatoren (PID) zuzuweisen und mehr Informationen über die Herkunft der Daten aufzunehmen. Die Validierungspipeline soll erweitert werden, um mehr Arten von Datensätzen abzudecken. Um die Skalierbarkeit zu verbessern, untersuchen wir den Einsatz von Container-Orchestrierungssystemen wie Kubernetes. Außerdem soll die Überwachung des Systems auf alle Komponenten ausgeweitet werden, um den Zustand und die Leistung aller TRIDAP-Komponenten zu überwachen und zu visualisieren. ■

in [6, 7]. A screenshot showing the visualisation of live data is shown in fig. 3. The data is automatically updated at regular intervals so that the user sees the latest available data in the application. Furthermore, we are also currently investigating the use of MapStore as a generic visualisation tool with which anyone can easily create a new map by merging the layers from GeoServer.

5 Conclusion and future developments

This article presents an open-source-software-based solution for managing georeferenced road and railway infrastructure data. The system is being continuously developed and used for many ongoing projects at the DLR-TS. The roadmap for the future development of TRIDAP includes experiments with SensorML to store additional metadata on the sensor configuration, which will further enrich the measurement datasets stored in the system and improve their interoperability and reusability. Additionally, we are also working on assigning universally unique and persistent identifiers (PID) to the datasets stored in the system as well as the inclusion of more information on the data provenance. The validation pipeline will be extended to cover more dataset types. In order to improve the scalability, we are investigating the use of container orchestration systems such as Kubernetes. Furthermore, there are also plans to extend the monitoring of the system to cover all the components in order to keep track of and visualise the health and performance of all the TRIDAP components. ■

AUTOREN | AUTHORS

Sangeetha Shankar, M.Sc.

Wissenschaftliche Mitarbeiterin / *Research Associate*
E-Mail: sangeetha.shankar@dlr.de

Akhil Jayant Patil, M.Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter / *Research Associate*
E-Mail: akhil.patil@dlr.de

Julia Heinbockel, M.Sc.

Wissenschaftliche Mitarbeiterin / *Research Associate*
E-Mail: julia.heinbockel@dlr.de

Alle Autoren / all authors:

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) /
German Aerospace Center (DLR)
Institut für Verkehrssystemtechnik / *Institute of Transportation Systems*
Anschrift / *Address*: Lilienthalplatz 7, D-38108 Braunschweig

LITERATUR | LITERATURE

- [1] Wilkinson, M.; Dumontier, M.; Aalbersberg, I. et al.: The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Sci Data* 3, 160018 (2016). DOI <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>
- [2] Buttigieg, P. L.; Curdt, C.; Ihsan, A. Z.; Jejkal, T.; Kubin, M.; Mannix, O.; Mohr, Daniel, P.; Pirogov, A.; Port, B.; Stucky, K.-U.; Helmholtz Metadata Collaboration (HMC) (2022): An interpretation of the FAIR principles to guide implementations in the HMC digital ecosystem. *Open Access*, ed. by Lorenz, S.; Finke, A.; Langenbach, C.; Maier-Hein, K.; Sandfeld, S.; Stotzka, R.: HMC Paper, 1. HMC-Office, GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research, Kiel, Germany, 26 pp. DOI 10.3289/HMC_publ_01
- [3] Shankar, S.; Schubert, L. A.; Patil, A. J.; Erdmann, J.: Der Einsatz von Big Data und der Verkehrssimulation SUMO im Rahmen von Rail2X, *SIGNAL+DRAHT* 10/2020, S. 49-58, DVV Media Group. ISSN 0037-4997
- [4] Shankar, S.; Grünhäuser, M.: Managing digital level crossing data using open-source big data technologies, *SIGNAL+DRAHT* 2/2022, S. 31-37, DVV Media Group. ISSN 0037-4997
- [5] Shankar, S.; Heusel, J.; Böttcher, O.; Patil, A. J.; Baasch, B.: Management von großen Sensordatenmengen für die Digitalisierung und Automatisierung im Bahnbereich, *ETR – Eisenbahntechnische Rundschau* 12/2022, S. 45-49, DVV Media Group. ISSN 0013-2845
- [6] Schubert, L. A.; Rahmig, C.; Scholz, M.: Zentrales Echtzeit-Datenmanagement für Anwendungen im Bahnverkehr, *EI – DER EISENBAHNINGENIEUR* 6/2016, Tetzlaff Verlag. ISSN 0013-2810
- [7] Schubert, L. A.; Rahmig, C.; Scholz, M.; Böhm, T.: Zentralisiertes Management von Geodaten im Schienenverkehr, *SIGNAL+DRAHT* 12/2016, S. 6-14, DVV Media Group. ISSN 0037-4997