

Digitales Register – die „Single Source of Truth“ für Infrastrukturdaten für das vollautomatisierte Fahren

Digital Register - the “Single Source of Truth” for the infrastructure data used in fully automated driving

Danny Kreyenberg | Harish Narayanan | Thomas Renner | Henning Nitzschke | Benedikt Wenzel

Nahezu alle Schlüsselfunktionalitäten des digitalen Bahnbetriebs erfordern hochgenaue, aktuelle und digital verfügbare Infrastrukturdaten. Vor diesem Hintergrund arbeitet die DB InfraGO AG im Rahmen der Sektorinitiative Digitale Schiene Deutschland (DSD) intensiv an einem sogenannten „Digitalen Register (DR)“ als einheitliche Datenbasis für verschiedene Systeme des digitalen Bahnsystems. Das DR ist auch Teil des Projekts „R2DATO“ (Rail to Digital Automated up to Autonomous Train Operation) im Rahmen der ERJU (Europe’s Rail Joint Undertaking) [1]. Dieser Beitrag zeigt den aktuellen Stand der Spezifikation des DR im Rahmen der ERJU, welcher in Zusammenarbeit mit internationalen Partnern erzielt wurde. Ferner wird ein Überblick über aktuelle Pilotprojekte in Deutschland gegeben, bei denen das DR Anwendung findet.

1 Einführung

Zahlreiche Pilotprojekte der DSD die in den letzten vier Jahren durchgeführt wurden, verdeutlichen, dass hochgenaue, aktuelle und digital verfügbare Infrastrukturdaten für den zukünftigen digitalen Bahnbetrieb entscheidend sind. Verlässliche Daten sind Voraussetzung für zukünftige sicherheits- und nicht sicherheitsrelevante Anwendungen, mit denen die Kapazität, die Qualität und Effizienz des Bahnsystems gesteigert werden soll. So sind beispielsweise sensorbasierte Wahrnehmungssysteme für das vollautomatisierte Fahren auf genaue Infrastrukturdaten angewiesen, um zwischen sicheren und nicht sicheren Situationen im Bahnbetrieb zu unterscheiden [2]. Zukünftige Lokalisierungssysteme benötigen detaillierte digitale Karten, die Informationen über die Gleisachse, Gleisgeometrie und Landmarken enthalten. Auch KI-basierte Kapazitäts- und Verkehrsmanagementsysteme, wie z. B. das von der DSD entwickelte Capacity and Traffic Management System (CTMS) sind für eine effiziente digitale Planung und Steuerung auf aktuelle Topologiedaten angewiesen [3]. Darüber hinaus benötigen neue, zugorientierte Sicherungssysteme zuverlässige Infrastrukturdaten, um einen Betrieb in sogenannten „Moving Blocks“ zu ermöglichen [4, 5]. Die Bedeutung dieser Anwendungsfälle wurde sowohl von der DSD [6] als auch von dem europäischen Programm Europe’s Rail [7] erkannt und bei verschiedenen Entwicklungsaktivitäten berücksichtigt. Dazu zählen Projekte wie AutomatedTrain (AT) [14, 15], ATO-Zentrale (ATO-Centre) im Digitalen Knoten Stuttgart (DKS) [10] oder der ERJU Moving Block Demonstrator mit Feldtests im Digitalen Testfeld Bahn im Erzgebirge [1]. Insbesondere die verschiedenen Stufen des automatisierten Fahrens in den Stufen ATO GoA 2 (Zug fährt hochautomatisiert mit Triebfahrzeugführer (Tf), Eingriff bei Gefahrensituation durch Tf)

Almost all the key functionalities of digital railway operations require accurate, up-to-date and digitally available infrastructure data. In order to achieve this goal, DB InfraGO AG is working intensively as part of the German Digitale Schiene Deutschland (DSD) sector initiative on a so-called “Digital Register (DR)” that will constitute a uniform data basis for the various systems within digital rail operations. The DR is also part of the “R2DATO” project (Rail to Digital automated up to Autonomous Train Operation) under Europe’s Rail Joint Undertaking (ERJU) [1]. This article presents the current specification status of the DR within the ERJU, which has been achieved in collaboration with international partners. Furthermore, an overview of the pilot projects in Germany where the DR is currently being applied is also provided.

1 Introduction

Numerous DSD pilot projects that have been conducted over the last four years have illustrated that accurate, up-to-date and digitally available infrastructure data is crucial for future digital rail operations. Such reliable data is a prerequisite for various novel safety-relevant and non-safety-relevant applications with the goal of increasing the railway system’s capacity, punctuality and quality. For example, sensor-based perception systems for fully automated driving rely on accurate infrastructure data to distinguish between safe and unsafe situations in railway operations [2]. Future localisation systems will benefit from detailed digital maps, including any precise information about the track axis, geometry, and landmarks. AI-based capacity and traffic management systems (CTMS) depend on up-to-date topology data for efficient digital planning and control [3]. Moreover, new train-centric trackside protection systems require reliable infrastructure data to enable Moving Block operations [4, 5]. The significance of these use cases has been identified by both DSD [6] and the Europe’s Rail program [7] leading to their inclusion in several development activities. These include projects such as AutomatedTrain (AT) [14, 15], the ATO Centre in the Digitaler Knoten Stuttgart (DKS) [10] and the ERJU Moving Block Demonstrator with field tests at the Digitales Testfeld Bahn in the Ore Mountains [1]. The various levels of automated driving in ATO GoA 2 (the train operates semi-automatically with a driver, intervention by the driver in cases of danger) and ATO GoA 4 (the train is fully automated and driverless, intervention by the technical systems in cases of danger) especially rely on reliable infrastructure data. Such data includes the track geometry, topology (nodes and interconnecting links), track elements, track properties and any further static data with reference

und ATO GoA 4 (Zug fährt vollautomatisiert und fahrerlos, Eingriff bei Gefahrensituationen durch technische Systeme) sind auf zuverlässige Infrastrukturdaten angewiesen. Dazu gehören die Gleisgeometrie, die Topologie (Knoten-und-Kanten-Modell), Infrastrukturelemente im Gleisbereich, Gleiseigenschaften und weitere statische Daten mit Bezug zur Infrastruktur. Das DR stellt diese Daten „passgenau“ für die verschiedenen Anwendungsfälle zur Verfügung, indem es verschiedene Quelldaten aggregiert, validiert und anreichert.

Die Standardisierung von Infrastrukturdaten und die Bereitstellung von Schnittstellen, die es anderen Systemen ermöglichen, auf diese Daten zuzugreifen, sind entscheidende Elemente des DR. Sie tragen zu dem übergreifenden Ziel bei, die Interoperabilität im Eisenbahnverkehr europaweit zu fördern.

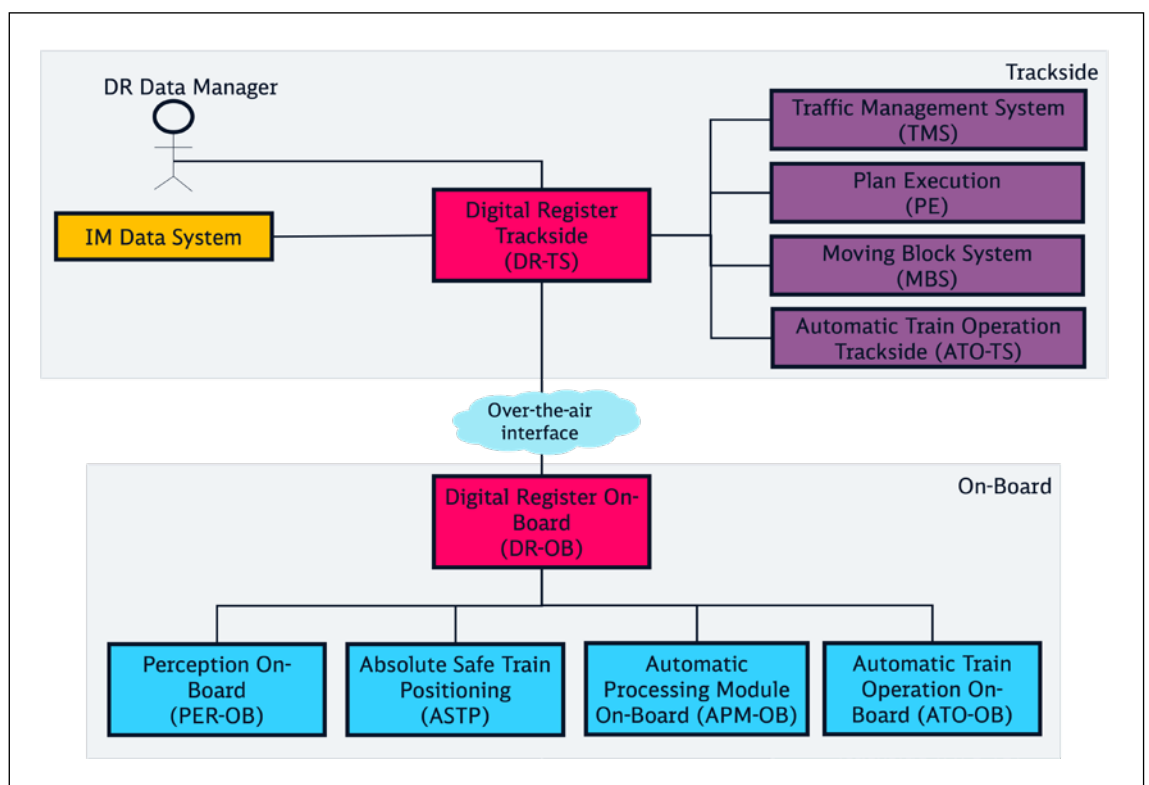
Als Eisenbahninfrastrukturbetreiber ist die DB InfraGO AG verpflichtet, allen Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) den Netzzugang und die heute und zukünftig notwendigen Infrastrukturdaten für den Betrieb ihrer Fahrzeuge diskriminierungsfrei zur Verfügung zu stellen. Zudem ist die Generierung von zuverlässigen Infrastrukturdaten für das hochautomatisierte Fahren abhängig von Vorprozessen sowie bereits im DB-Konzern vorhandenen Daten (z. B. CCS-Engineering) [17]. Aus diesen Gründen hat sich die DB InfraGO AG entschieden, das DR selbst zu entwickeln und deutschlandweit in Betrieb zu nehmen.

Die Architektur des DR, die im Rahmen des ERJU Projekts R2DATO spezifiziert wurde, besteht aus einer streckenseitigen (DR-TS) und einer fahrzeugseitigen (DR-OB) Komponente. Wie in Bild 1 dargestellt, liefern beide Komponenten zuverlässige Infrastrukturdaten an andere streckenseitige und fahrzeugseitige Systeme. Dazu zählen: Automatic Train Operation Trackside (ATO-TS), Traffic Management System (TMS), Plan Execution (PE), Moving Block System (MBS), Absolute Safe Train Positioning (ASTP), Perception On-Board (PER-OB), Automatic Processing Module On-Board (APM-OB) und Automatic Train Operation On-Board (ATO-OB) [1].

Bild 1: ERJU-Systemumgebung und Randbedingungen für das Digitale Register. Verschiedene Systeme des digitalen Bahnsystems sind auf einheitliche und verlässliche Infrastrukturdaten des DR angewiesen.

Fig. 1: The ERJU system environment for the Digital Register. Various systems within digital railway operations rely on uniform and reliable infrastructure data from the DR.

Quelle / Source: Digitale Schiene Deutschland / DB InfraGO AG



to the infrastructure. The DR provides this data “tailored” precisely to the needs of the applications by aggregating, validating and enhancing various pieces of source data.

The standardisation of infrastructure data and the interfaces that enable other systems to access this data are crucial elements of the DR. They contribute to the overarching goal of promoting interoperability in rail transport throughout Europe.

As a railway infrastructure operator, DB InfraGO AG is obliged to provide all the railway undertakings with network access and the necessary data on a non-discriminatory basis. In addition, the generation of reliable infrastructure data for highly automated driving depends on pre-processes and data already available at Deutsche Bahn AG (e.g. CCS engineering) [17]. For these reasons, DB InfraGO AG has decided to develop the DR in-house and commission it nationwide in Germany.

The architecture of the DR, specified within the framework of the ERJU R2DATO project, consists of a trackside (DR-TS) and an on-board (DR-OB) component. As shown in fig. 1, both components provide reliable infrastructure data to other trackside and on-board systems. These include Automatic Train Operation Trackside (ATO-TS), Traffic Management System (TMS), Plan Execution (PE), Moving Block System (MBS), Absolute Safe Train Positioning (ASTP), Perception On-Board (PER-OB), Automatic Processing Module On-Board (APM-OB) and Automatic Train Operation On-Board (ATO-OB) [1].

2 The concepts and processes of the Digital Register

2.1 A “Single Source of Truth” for reliable infrastructure data

The DR has been specified as the Single Source of Truth for reliable, static infrastructure data within the context of the ERJU R2DATO project. It is therefore a crucial system for both safety-critical and non-safety-critical systems [1]. In addition to providing reliable infrastructure data, the DR also includes important data management

2 Konzepte und Prozesse des Digitalen Registers

2.1 „Single Source of Truth“ für Infrastrukturdaten

Im Rahmen des ERJU Projekts R2DATO wird das DR als „Single Source of Truth“ für verlässliche, statische Infrastrukturdaten spezifiziert. Es ist ein entscheidendes, unterstützendes System für sowohl sicherheitsrelevante als auch nicht sicherheitsrelevante Systeme [1]. Neben der Bereitstellung von verlässlichen Infrastrukturdaten umfasst das DR auch wichtige Datenverwaltungsfunktionen wie Datenaufbereitung, Synchronisation, Versionierung, Aktivierung und Speicherung.

Verlässliche Infrastrukturdaten weisen folgende Merkmale auf:

- **Vollständigkeit:** Sie beinhalten sämtliche relevanten Informationen ohne Auslassungen, z. B. alle Gleisobjekte und -elemente.
- **Genauigkeit und Korrektheit:** Sie enthalten z. B. den richtigen Elementtyp, den Mindestabstand zwischen Balisengruppen, die Übereinstimmung der Position innerhalb definierter Konfidenzintervalle.
- **Aktualität:** Daten müssen für den jeweiligen Zeitpunkt relevant und gültig sein.
- **Konsistenz:** Es gibt keine Mehrdeutigkeiten oder Widersprüche zwischen verschiedenen Versionen und Bereichen [13].

Das DR muss sicherstellen, dass es Daten in dem Format und der Qualität bereitstellt, wie sie von den konsumierenden Systemen benötigt werden. Einige dieser Systeme, wie z. B. das MBS, können als sicherheitsrelevant eingestuft werden, weshalb ein formeller Nachweis der Sicherheit sowie die Einhaltung von Akzeptanzraten und den Normen EN 50128 [8] und EN 50129 [9] erforderlich sind.

Die Anwendungsgebiete des DR reichen von ATO GoA 2 bis GoA 4. Es ist damit die Datengrundlage seitens der Infrastruktur für sämtliche Systeme des automatisierten Fahrens. Es unterstützt die ATO-GoA 2-Architektur gemäß TSI 2023 und ist ein zentraler Bestandteil zukünftiger GoA 3- und GoA 4-Architekturen.

2.2 Lebenszyklus

Das DR verwaltet statische Infrastrukturdaten über alle Phasen ihres Lebenszyklus. Dieser Lebenszyklus besteht aus den Phasen Preparation und Publish. Während der Preparation Phase werden die Daten importiert und nach vorgegebenen Regeln aggregiert und validiert. In der Publish Phase werden die Daten den konsumierenden Systemen bereitgestellt. Bild 2 veranschaulicht die beiden Lebenszyklusphasen sowie ihre zugehörigen Prozessschritte.

2.2.1 Preparation Phase

Als Eingang für die Preparation Phase dienen Daten aus bereits vorhandenen Quellen, die entweder vom Eisenbahninfrastrukturunternehmen oder von zugrundeliegenden Engineering Prozessen bereitgestellt werden. Die Phase umfasst drei Prozessschritte:

Importieren: Dieser Prozessschritt beinhaltet den Import der zugrunde liegenden Daten. Es ist entscheidend, dass sie sowohl inhaltlich als auch technisch den spezifischen Anforderungen entsprechen, die für den Import festgelegt wurden.

Aggregieren und Validieren: In diesem Prozessschritt werden die importierten Daten aggregiert und gemäß einem einheitlichen Datenmodell strukturiert. Da eine Vielzahl fachlicher Aspekte nicht allein durch die Einhaltung des Datenmodells validiert werden kann, kann neben der Prüfung der Daten gegen Validierungsregeln auch der Vergleich mehrerer Quellen herangezogen werden. Dabei soll für die Validierung ein generischer und standardisierter Satz an Prüfgeln zum Tragen kommen.

Kompilieren: In diesem Schritt des Prozesses werden die zuvor validierten Daten entsprechend den Anforderungen der konsumierenden

funktionen such as data processing, synchronisation, versioning, activation and storage.

In general, the characteristics of reliable infrastructure data include the following:

- **completeness:** the data covers all the relevant information without any gaps, e.g. all the track objects and elements.
- **accuracy and correctness:** the data includes for instance, the correct element types, the minimum distances between the balise groups and a conformity of position within the defined confidence intervals.
- **timeliness:** the data must be relevant and valid for the respective time-period.
- **consistency:** there are no ambiguities or contradictions between the different versions and areas [13].

The DR must ensure that it provides data in the format and quality required by the consuming systems. Some of these systems, such as the MBS, may be classified as safety-relevant, whereby formal safety processes and compliance with the acceptance criteria and the EN 50128 [8] and EN 50129 [9] standards are required.

The application areas of the DR range from ATO GoA 2 to GoA 4. It serves as the data hub on the infrastructure side for all automated driving systems. It likewise supports the ATO GoA 2 architecture according to TSI 2023 and will be a central component of future GoA 3 and GoA 4 architectures.

2.2 Lifecycle

The DR manages static, reliable infrastructure data throughout its entire lifecycle. The lifecycle consists of the preparation and publish phases. During the preparation phase, the data is imported, aggregated and validated according to the predefined rules. In the publish phase, the data is made available to the consuming systems. Fig. 2 illustrates the two phases along with their corresponding high-level processes.

2.2.1 The preparation phase

Data from existing sources provided either by the railway infrastructure manager or by the underlying engineering processes is used as the input for the preparation phase. The phase consists of four high-level processes:

Import: this procedural step involves importing the underlying data. It is crucial that the data meets both the content and technical specifications specified for the import.

Aggregate and Validate: the imported data is aggregated and structured according to a unified data model in this procedural step. Since adhering solely to the data model cannot validate numerous technical aspects, the data can also be tested against the validation rules and compared with multiple sources. A generic and standardised set of validation rules should be applied for this purpose.

Compile: this step of the process involves the conversion of the previously validated data to meet the requirements of the consuming systems, thereby enabling them to use the data as configuration data. Further verification is necessary after conversion, including compliance with the requirements of EN 50128 [8] and EN 50129 [9], in order to ensure the required data quality and reliability.

All the procedural steps in the preparation phase exclusively take place in the Digital Register Trackside (DR-TR). Furthermore, the processes in this phase are conducted “offline”, i.e. decoupled from the active railway operations. An essential advantage of this structure and approach lies in the expectation of less restrictive PRAMS requirements (Performance, Reliability, Availability, Maintainability, Safety).

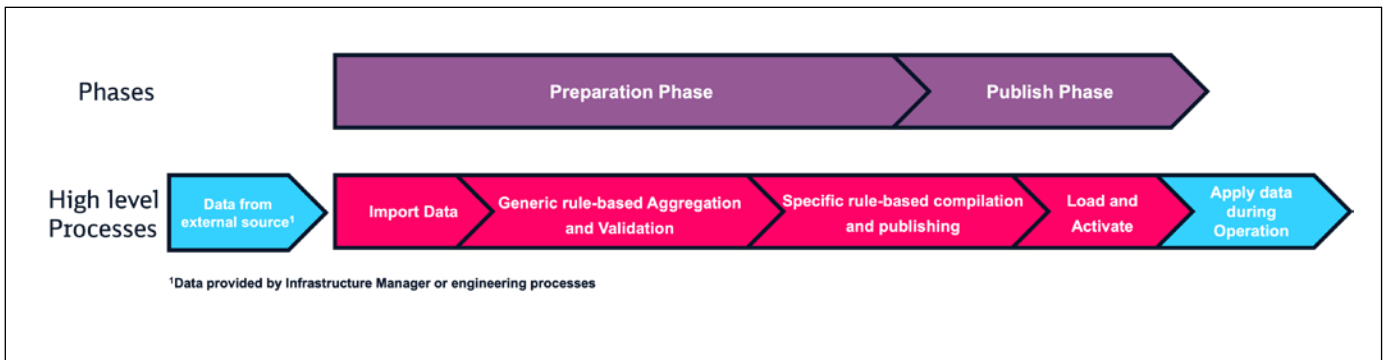


Bild 2: Lebenszyklus von Daten im DR

Fig. 2: The lifecycle of the data in the DR

Quelle / Source: Digitale Schiene Deutschland / DB InfraGO AG

den Systeme umgewandelt, sodass diese die Daten als Konfigurationsdaten nutzen können. Nach der Konvertierung ist eine weitere Verifizierung erforderlich, die unter anderem den Vorgaben der EN 50128 [8] und EN 50129 [9] entspricht, um die erforderliche Qualität und Zuverlässigkeit der Daten sicherzustellen.

Die beschriebenen Prozessschritte der Preparation Phase finden ausschließlich im Digital Register Trackside (DR-TR) statt. Zudem werden die Prozesse in dieser Phase „offline“ durchgeführt und sind somit vom aktiven Eisenbahnbetrieb entkoppelt. Ein wesentlicher Vorteil durch diese Strukturierung und Vorgehensweise besteht darin, dass weniger restriktive PRAMS-Anforderungen (Performance, Reliability, Availability, Maintainability, Safety) zu erwarten sind.

2.2.2 Publish Phase

Die zentrale Aufgabe der Publish Phase besteht darin, die Infrastrukturdaten reibungslos den konsumierenden Systemen zur Verfügung zu stellen. Dabei ist sicherzustellen, dass alle konsumierenden Systeme die gleiche Version der Daten erhalten und auch aktiviert haben. Diese Phase besteht aus zwei Prozessschritten:

Bereitstellung und Laden: Dieser Prozessschritt beinhaltet die Bereitstellung der in der Preparation Phase vorbereiteten Infrastrukturdaten für die konsumierenden Systeme. Dabei ist sicherzustellen, dass die konsumierenden Systeme die Daten vollständig und fehlerfrei erhalten.

Aktivierung und Anwendung: Nach erfolgreichem Abschluss des vorherigen Bereitstellungs- und Ladevorgangs beinhaltet dieser Prozessschritt die sichere Aktivierung der neu verfügbaren Infrastrukturdaten in allen konsumierenden Systemen. Im Kontext des DR bezeichnet Aktivierung die Deklaration einer Version von Infrastrukturdaten als „aktiv“. Es wird sichergestellt, dass immer nur eine Version an Infrastrukturdaten aktiviert ist, die den konsumierenden Systemen bereitgestellt wurde. Die ERJU-Spezifikation präzisiert einen synchronisierten Aktivierungsprozess, der in Zusammenarbeit mit dem TMS und dem MBS durchgeführt wird.

3 Laufende Implementierungen in Deutschland und Europa

3.1 Umsetzung im Digitalen Knoten Stuttgart

Basierend auf den Spezifikationen der früheren RCA-Initiative [12] und in Zusammenarbeit mit den Arbeitsgruppen des ERJU-Innovation & System Pillar wird seit 2022 im Pilotprojekt „Digitaler Knoten Stuttgart“ [10, 16] das erste DR als Eigenentwicklung der DB InfraGO AG umgesetzt. Das Basic Digital Register (Basic DR) wird als Teil der ATO-Zentrale (ATO-Centre, streckenseitiges System) die einzige betriebliche Infrastrukturdatenquelle sein und so den Betrieb eines ganzen Knotens im Modus ATO GoA 2 ermöglichen.

2.2.2 The publish phase

The main task of the publish phase is to provide the infrastructure data to all the consuming systems. It is important to ensure that all the consuming systems receive and activate the same version of the data. This phase consists of two procedural steps:

Publish and Load: this procedural step involves publishing the infrastructure data that has been generated and validated in the Preparation Phase for the consuming systems. It ensures that the consuming systems receive the data completely and error-free.

Activate and Apply: Once the data has been loaded by the consuming systems, this step involves securely activating the newly available infrastructure data in all the consuming systems. Within the context of the DR, activation refers to the declaration of a version of the infrastructure data as “active”. This ensures that only one and the same version of the infrastructure data is activated in all the consuming systems. The ERJU specification specifies a synchronised activation process performed in collaboration with the TMS and the MBS.

3 Ongoing implementations in Germany and Europe

3.1 The implementation in the Digitaler Knoten Stuttgart

Based on the specifications of the former RCA initiative [12] and in collaboration with the working groups in the ERJU Innovation & System Pillar, the first DR implementation has been implemented in the “Digitaler Knoten Stuttgart” pilot project [10, 16] since 2022 as an in-house DB InfraGO AG development. The Basic Digital Register (Basic DR) serves as the Single Source of Truth for the operating infrastructure data as part of the ATO-Centre system (the trackside system) and thus enables the operation of an entire node (i.e. area) in ATO GoA 2 mode.

The Basic DR system element is a purely trackside application with a split architecture approach. As shown in fig. 3, the Central Basic DR uses a cloud service to prepare the infrastructure data and the Local Basic DR is the operating system inside the Technikstandort (TSO) for the distribution of the infrastructure data to the surrounding Capacity and Traffic Management Translator (CTMS-T) and ATO-Trackside (ATO-TS) trackside system elements. The Basic DR acts as an enabler for the CTMS-T to create Journey Profiles [11] and for ATO-TS to manage Journey and Segment Profiles [11].

The Central Basic DR holds infrastructure data from various sources. Similarly to the DR within the context of the ERJU project, this external data is transformed into a common data set and enhanced based on the defined rules so as to generate specific data for CTMS-T and ATO-TS. The enhanced generated data is then passed to the

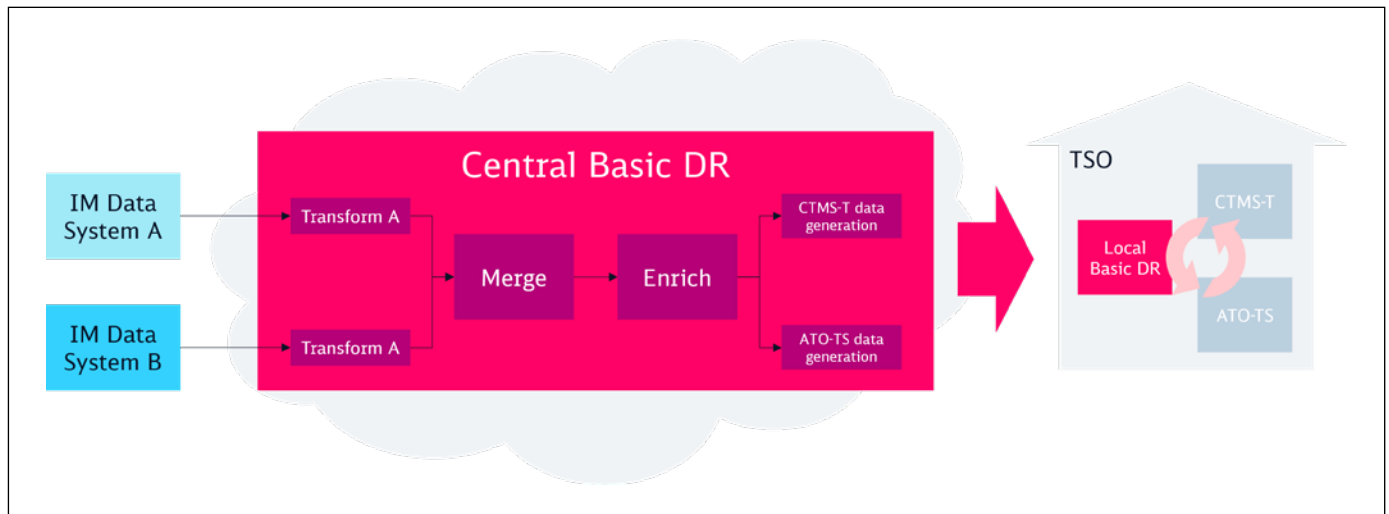


Bild 3: High-Level-Architektur Basic DR (und ATO-Centre)

Fig. 3: High-level architecture Basic DR (and ATO-Centre)

Quelle / Source: Digitale Schiene Deutschland / DB InfraGO AG

Das Systemelement Basic DR ist eine rein streckenseitige Anwendung mit einem zweigeteilten Architekturansatz. Wie Bild 3 dargestellt, ist das zentrale Basic DR ein Cloud-Dienst zur Aufbereitung der Infrastrukturdaten. Das lokale Basic DR ist das operative System innerhalb eines Technikstandorts (TSO) der InfraGO AG. Es stellt die Infrastrukturdaten den umliegenden, streckenseitigen Anwendungen Capacity and Traffic Management Translator (CTMS-T) und ATO-Trackside (ATO-TS) zur Verfügung. Das Basic DR dient als Enabler für den CTMS-T zur Erstellung von Journey Profiles [11] und für ATO-TS zur Verwaltung von Journey und Segment Profiles [11].

Das Central Basic DR hält Infrastrukturdaten aus verschiedenen Quellen bereit. Diese externen Daten werden – ähnlich wie beim DR im Rahmen des ERJU-Projektes – in einen konsolidierten Datensatz überführt und auf Grundlage definierter Regeln angereichert, um für CTMS-T und ATO-TS spezifische Daten zu erstellen. Die angereicherten, generierten Datensätze werden dann als validierte Daten dem Local Basic DR und damit den anderen angeschlossenen Systemen übergeben. Das DR Data Management überwacht und steuert die Prozesse im Basic DR während der Laufzeit und sorgt für eine hohe Qualität der Daten.

3.2 Umsetzung im Projekt AutomatedTrain

Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderte Projekt „AutomatedTrain (AT)“ hat zum Ziel, durch fahrerlose, vollautomatische Bereitstellungs- und Abstellfahrten von Zügen den Fahrzeugeinsatz zu flexibilisieren. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für den Mehrverkehr auf der Schiene [14]. Dazu werden zwei Fahrzeuge verschiedener Hersteller mit identischer Sensor-Hardware, aber softwareseitig mit unterschiedlichen Wahrnehmungs- und Lokalisierungssystemen ausgestattet. Dies ermöglicht einen Vergleich verschiedener Lösungen und fördert die Entwicklung einer offenen Architektur. Das Konsortium besteht neben der DB InfraGO AG aus insgesamt neun Partnern aus Industrie, EVU, Eisenbahninfrastrukturbetreibern und Wissenschaft.

Das DR im AT-Projekt stellt für die fahrzeugseitigen Wahrnehmungs- und Lokalisierungssysteme die Infrastrukturdaten bereit. Die Daten werden durch eine streckenseitige Komponente (DR-TS) generiert und den Systemen auf dem Fahrzeug bereitgestellt – analog zu den DR Standardisierungsaktivitäten im ERJU Projekt R2DATO.

Local Basic DR as validated data and thus to the other connected systems. The DR Data Management monitors and controls the processes in the Basic DR during runtime, thus ensuring high data quality.

3.2 Implementation in the AutomatedTrain Project

The goal of the AutomatedTrain (AT) project funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action is to increase the flexible use of trains using a driverless, fully automated dispatching and parking functionality [14]. This is a crucial prerequisite for the expansion of rail transport in order to enable more rail traffic. Therefore, two vehicles from different manufacturers are equipped with identical sensor hardware, but with different perception and localisation systems. This enables the benchmarking of different solutions and supports the development of an open architecture and interoperability. In addition to DB InfraGO AG, the project consortium also includes a total of nine partners from industry, railway operators, railway infrastructure managers and academia.

The DR in the AT project provides infrastructure data for the on-board perception and localisation systems. The data is generated by a trackside component (DR-TS) and is made available to all the onboard systems analogous to the DR standardisation activities in the ERJU R2DATO project.

The data includes the track topography and static objects along the tracks as three-dimensional landmarks. These landmarks consist of catenary poles, signals and platforms. This digital representation of the environment is referred to as the “Ground Truth” and it supports the perception and localisation functions in detecting objects and distinguishing obstacles along the track area.

The process of 3D landmark digitalisation consists of two steps. Firstly, accurate three-dimensional point clouds are measured and recorded using a LiDAR scanner mounted on a specially equipped measurement vehicle. Afterwards, object recognition and extraction are performed based on these point clouds to identify the semantic map objects that are important for train operations. This simplifies the representation of the rail environment to its essentials. This semantic map is then provided to the train and its on-board systems. Fig. 4 illustrates the LiDAR point cloud along with the semantic map objects.

Die Daten umfassen die Streckentopographie und statische Objekte entlang der Gleise als dreidimensionale Landmarken. Zu den Landmarken gehören Oberleitungsmasten, Signale und Bahnsteige. Diese digitale Darstellung der Umgebung wird als sogenannte „Ground Truth“ verwendet und unterstützt die Wahrnehmungs- und Lokalisierungsfunktionen bei der Erkennung und Unterscheidung von Hindernissen entlang des Gleisbereichs. Der Prozess der 3D-Digitalisierung von Landmarken besteht aus zwei Schritten. Zunächst werden mit einem LiDAR-Scanner, der auf einem speziell ausgerüsteten Messfahrzeug montiert ist, genaue dreidimensionale Punktwolken gemessen und aufgenommen. Anschließend werden auf der Grundlage dieser Punktwolken Objekterkennung und -extraktion durchgeführt, um semantische, i. e. für den Zugbetrieb wichtige, Kartenobjekte zu identifizieren. Die Darstellung der Schienenumgebung wird dadurch auf das Wesentliche reduziert. Diese semantische Karte wird dann dem Zug zur Verfügung gestellt. Bild 4 zeigt die LiDAR-Punktwolke zusammen mit den Objekten der semantischen Karte.

3.3 Umsetzung im ERJU Moving Block Demonstrator

Das ERJU R2DATO-Projekt [1] entwickelt einen Demonstrator für ein modulares, streckenseitiges Sicherungssystem, das den Betrieb in sogenannten „Moving Blocks“ ermöglicht. Der Ansatz besteht darin, von der traditionellen, blockbasierten Zugsicherung zu einer neuartigen Sicherheitslogik überzugehen, bei der der Zug mit seiner Ausdehnung innerhalb des Netzes genau lokalisiert wird (streckenseitig, z. B. Balisen und fahrzeugseitig, z. B. sichere Zugschlussposition und Zugintegrität). Dadurch können die Züge in Abhängigkeit von ihrer absoluten Bremskurve und der aktuellen Geschwindigkeit in sicheren Abständen zueinander fahren.

Der Demonstrator wird im Digitalen Testfeld Bahn im Erzgebirge erprobt. Bei dem Projekt sind mehrere Partner beteiligt. Das Konsortium besteht neben der DB InfraGO AG aus mehreren europäischen Partnern, darunter Thales, die Schweizerische Bundesbahnen AG (SBB) und die Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB). Ziel des Demonstrators ist es, das Technology Readiness Level (TRL) 6 zu erreichen, was bedeutet, dass erfolgreich in einem Prototypstadium getestet werden kann.

Das Gesamtsystem besteht aus einem DR, Plan Execution sowie MBS. Im Zusammenspiel dieser Komponenten soll ein Moving-Block-Betrieb ermöglicht werden. Das DR ist für die Bereitstellung zuverlässiger Infrastrukturdaten verantwortlich.

4 Ausblick

Verlässliche Infrastrukturdaten sind für den künftigen digitalen Bahnbetrieb von entscheidender Bedeutung. Ziel des DR ist es, diese Daten in hoher Qualität und „passgenau“ bereitzustellen. Die Daten des DR müssen allen EVU gleichermaßen und diskriminierungsfrei zur Verfügung gestellt werden. Aus diesem Grund und aufgrund der engen Verzahnung mit heutigen und zukünftigen Infrastruktursystemen entwickelt die DB InfraGO AG dieses System selbst.

Eines der wichtigsten Entwicklungsziele ist die Standardisierung der Schnittstellen des DR und des zugrunde liegenden Datenmodells. Darüber hinaus soll die Standardisierung von Infrastrukturdaten und Schnittstellen die Interoperabilität des Schienenverkehrs in Europa fördern.

Durch die weitere Zusammenarbeit mit zahlreichen europäischen Partnern im R2DATO-Projekt sowie durch nationale Pilotprojekte wie der „Digitaler Knoten Stuttgart“ und „Automated-

ETCS in Deutschland

Die aktualisierte und erweiterte 2. Auflage des erfolgreichen Handbuchs liefert einen **umfassenden Einblick in das European Train Control System** allgemein und seine **Realisierung in Deutschland**.



Jetzt zum
Vorbestellpreis:
Neuaufgabe
August 2024

2. Auflage Aug. 2024,
Hrsg. Jochen Trinckauf,
Ulrich Maschek, Richard Kahl,
ca. 450 Seiten, Hardcover,
ISBN 978-3-96245-263-6,
Print mit E-Book Inside,
Vorbestellpreis € 79,-*
(statt € 89,-* nach Erscheinen)
[www.trackomedia.com/
etcsdeutschland](http://www.trackomedia.com/etcsdeutschland)

MIT
E-BOOK
INSIDE

Mehr Infos und Bestellung:
www.trackomedia.com



**Die Zukunft der Mobilität –
Digitale Schiene Deutschland**
Print € 29,-*
[www.trackomedia.com/
digischiene](http://www.trackomedia.com/digischiene)



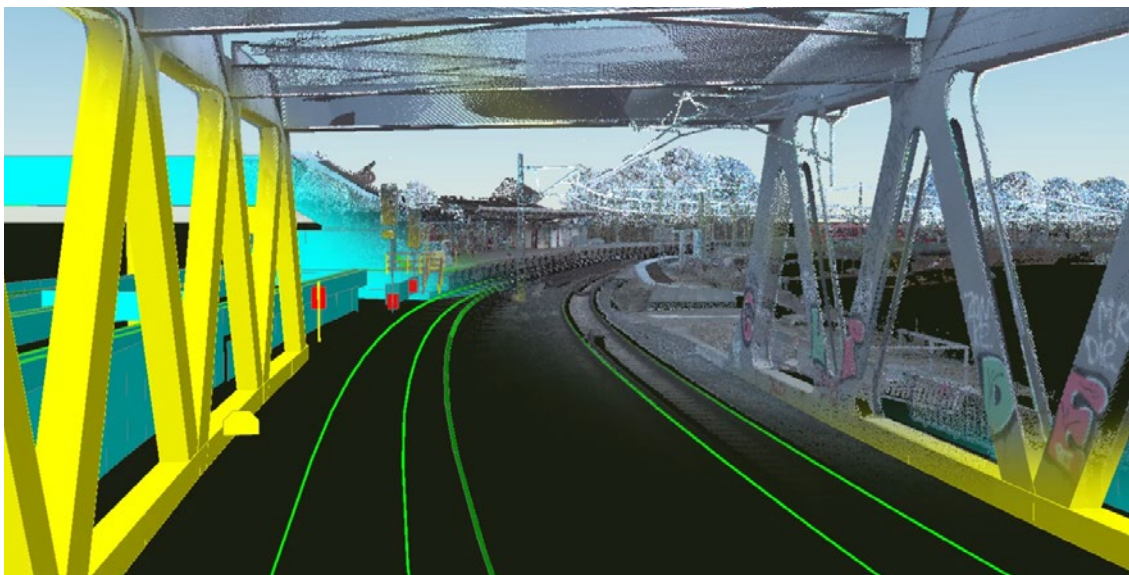
**Handbuch Bremstechnik
von Eisenbahnfahrzeugen,**
Print mit E-Book Inside € 89,-*
[www.trackomedia.com/
bremstechnik](http://www.trackomedia.com/bremstechnik)

* Preise inkl. MwSt, zzgl. Versand

BESTELLUNGEN:
Tel.: +49 7953 718-9092
Fax: +49 40 228679-503
E-Mail: office@trackomedia.com
Online: www.trackomedia.com

PER POST:
GRT Global Rail Academy and
Media GmbH / TrackoMedia
Kundenservice
D-74590 Blaufelden

Unsere Bücher erhalten Sie auch im gut sortierten Buchhandel.



**Bild 4: LiDAR-Punkt-
wolke und
semantische
Kartenobjekte
(farbige Bereiche)**

Fig. 4: A LiDAR point cloud and semantic map objects (the coloured markings)

Quelle / Source: Schiene Deutschland/DB InfraGo AG

Train“ wird das DR sein Potenzial zur Bereitstellung zuverlässiger Infrastrukturdaten für das digitalisierte Bahnsystem unter Beweis stellen. Nach erfolgreichem Abschluss des Pilotprojektes „Digitaler Knoten Stuttgart“ soll der ATO-GoA 2-Betrieb auf weitere Regionen in Deutschland ausgeweitet werden. Für die 3D-Daten und den fahrerlosen Zugbetrieb in der Automatisierungsstufe GoA 4 müssen die Anforderungen an die notwendigen Daten für das DR in den nächsten Jahren weiter validiert werden. Auch Herausforderungen wie z. B. die Sicherheitsanforderungen für vollautomatisierte Züge oder für einen Moving-Block-Betrieb sowie die schrittweise Integration dieser Systeme in den bestehenden Bahnbetrieb sind in den nächsten Jahren noch zu meistern. ■

LITERATUR | LITERATURE

- [1] Technical Enablers in ERJU FA2, see <https://projects.rail-research.europa.eu/eurail-fp2/technical-enablers/>
- [2] Hauswald, C. et al.: Sensors4Rail: Ein Erfolgsprojekt ist zu Ende, DER EISENBAHNINGENIEUR 09/2023, https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/55_61_Hauswald_et_al.pdf
- [3] Küpper, M.: Das Capacity & Traffic Management System für die Digitale Schiene, DER EISENBAHNINGENIEUR 10/2023, https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/2310_EI_Artikel_CTMS_K%C3%BCpper.pdf
- [4] Skowron, F.; Treydel, R.: Blöcke waren gestern – Chancen einer zugzentrischen LST, DER EISENBAHNINGENIEUR 11/2022, https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/34_39_Skowron_Treydel_neu.pdf
- [5] Düpmeier, F.: SmartLogic – Mit smarterer Sicherungslogik im Stellwerk Kapazitätspotenziale heben, SIGNAL+DRAHT 1+2/2024
- [6] Digitale Schiene Deutschland, <https://www.digitale-schiene-deutschland.de/Digital-Register>
- [7] Europe's Rail program, <https://projects.rail-research.europa.eu>
- [8] EN 50128 Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Software for railway control and protection systems
- [9] EN 50129 Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Safety related electronic systems for signalling
- [10] Digitaler Knoten Stuttgart, <https://digitale-schiene-deutschland.de/de/projekte/Hochautomatisiertes-Fahren-DKS>
- [11] ERA UNISIG Subset 125 v1.0.0
- [12] Reference CCS Architecture, <https://3.basecamp.com/4168621/buckets/10801981/vaults/5380306569>

3.3 Implementation in the ERJU Moving Block Demonstrator

The ERJU R2DATO project [1] is developing a demonstrator for a modular trackside protection system that enables the operation of Moving Blocks. The approach is to move from traditional block-based train protection to a new type of safety logic in which the train is precisely localised within the network using trackside localisation (e.g. balises) and on-board localisation (e.g. train integrity). This will allow the trains to run at safe distances from each other depending on their absolute braking curves and current speed.

The demonstrator will be tested on the Digitale Testfeld Bahn in Germany's Ore Mountains. In addition to DB InfraGO AG, the consortium also consists of several European partners, including Thales, Schweizerische Bundesbahnen AG (SBB) and Österreichische Bundesbahnen (ÖBB). The goal of the demonstrator is to achieve Technology Readiness Level (TRL) 6, which means that successful testing can be performed at a prototype stage.

The overall system consists of a DR, Plan Execution and MBS. These components work together to enable Moving Block operations. The DR is responsible for providing reliable infrastructure data.

4 Outlook

Reliable infrastructure data is crucial for future digital rail operations. The DR's goal is to provide this data at a high quality and in a form that is precisely “tailored” to different applications. The data provided by the DR must be made available to all the railway undertakings equally on a non-discriminatory basis. DB InfraGO AG is therefore developing this system itself for this reason and based on the close integration with current and future infrastructure systems.

An important goal of the current standardisation effort involves establishing uniform interfaces to the DR and the underlying data model. This will also promote the interoperability of rail transport within Europe.

The DR will demonstrate its potential to provide reliable infrastructure data through further collaborative efforts with all the European partners in the R2DATO project as well as through national pilot projects such as “Digitaler Knoten Stuttgart” and “AutomatedTrain”, thereby enhancing the digitalisation of the railway system. Following the successful completion of the “Digitaler Knoten Stuttgart” pilot project, ATO-GoA 2 operations are currently being planned for expansion to additional regions in Germany. The data requirements for

[13] Strategies for Reliable Infrastructure data, https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/24713/1/SRSS_2023_Tagungsband_final.pdf

[14] Digitale Schiene Deutschland und Industrie erhalten Förderbescheid für das Testen des vollautomatisierten Fahrens von Zügen, <https://digitale-schiene-deutschland.de/de/aktuelles/2023/foerderbescheid-vollautomatisiertes-fahren>

[15] Spiegel, D.; Hauswald, C.: Vollautomatisiertes, fahrerloses Fahren (GoA 4) – Herausforderungen im System Bahn, DER EISENBAHNINGENIEUR 05/2024

[16] Bitzer F. et al.: Der Digitale Knoten Stuttgart zwischen Licht und Schatten, DER EISENBAHNINGENIEUR 03/2024, https://www.digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/202403%20Der%20Eisenbahningenieur_Der%20DKS%20zwischen%20Licht%20und%20Schatten.pdf

[17] Bachmann, V.; Trinckauf, J.: Digitalisierung und Projektbeschleunigung als Systemlösung, SIGNAL+DRAHT (116) 1+2/2024, https://www.digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/Fachartikel_SIGNAL-DRAHT_%28D3ip_6-13%29.pdf

the DR in the domain of ATO GoA 4 driverless train operations must be further validated over the next few years. Challenges such as safety requirements for fully automated trains or for Moving Block operations, as well as the step-by-step integration of these systems into existing railway operations, are also open questions that need to be addressed in the coming years. ■

AUTOREN | AUTHORS

Dr. Danny Kreyenberg

Lead Digital Register (DR)
Digitale Schiene Deutschland
DB InfraGO AG
Anschrift / Address: EUREF-Campus 17, D-10829 Berlin
E-Mail: danny.kreyenberg@deutschebahn.com

Harish Narayanan, M.Sc.

Senior Expert ATO/Digital Map
Nextrail GmbH
Anschrift / Address: Schaumainkai 91, D-60596 Frankfurt am Main
harish.narayanan@nextrail.com

Dr. Thomas Renner

Expert Digital Register (DR)
Digitale Schiene Deutschland
DB InfraGO AG
Anschrift / Address: EUREF-Campus 17, D-10829 Berlin
E-Mail: thomas.th.renner@deutschebahn.com

Henning Nitzschke, M.Sc.

Product Owner Basic DR@GoA2
Digitale Schiene Deutschland
DB InfraGO AG
Anschrift / Address: EUREF-Campus 17, D-10829 Berlin
henning.nitzschke@deutschebahn.com

Dr. Benedikt Wenzel

Head of Railway Data
Nextrail GmbH
Anschrift / Address: Unter den Linden 21, D-10117 Berlin
benedikt.wenzel@nextrail.com



Wenn nicht jetzt, wann dann?

SIGNAL+DRAHT Nr. 9/24 bereitet sich intensiv auf die InnoTrans 2024 vor.



Buchen Sie jetzt Ihre Anzeige und sichern Sie sich Ihren Anzeigenplatz!

Anzeigenschluss ist der 16.08.24.

Sie
finden uns in
Halle 4.2
Stand 115

Kontakt: Silke Härtel · Tel.: +49/4023714 – 227 · silke.haertel@dvvmedia.com