

# Digitale Schiene Deutschland – Planungsprozess für Infrastrukturdaten für das hochautomatisierte Fahren

Digitale Schiene Deutschland – the engineering process for infrastructure data in support of highly automated driving

Albrecht Achilles | Harish Narayanan | Henning Nitzschke | Marco Pistol

**D**igitale Infrastrukturdaten sind eine wichtige Grundlage für das hochautomatisierte Fahren. Im Rahmen des ATO-GoA 2-Rollouts im Digitalen Knoten Stuttgart (DKS) kommt erstmalig der neu definierte ATO-Planungsprozess zur Anwendung. Von zentraler Bedeutung ist, dass die ATO-Infrastrukturdatenerstellung von der Planung der Leit- und Sicherungstechnik (LST) entkoppelt ist. Dies verringert die Komplexität und ergibt die Möglichkeit, die ATO-Infrastrukturdaten zur Laufzeit anzupassen. Der Beitrag gibt einen Überblick über die ATO-GoA 2-Systemarchitektur der Digitalen Schiene Deutschland (DSD), erläutert den neuen ATO-Planungsprozess und skizziert die damit einhergehenden Auswirkungen auf den Sektor.

## 1 Einleitung

### 1.1 Entwicklung des hochautomatisierten Fahrens – ein Meilenstein der DSD

Im Rahmen der Sektorinitiative Digitale Schiene Deutschland [1] wird das hochautomatisierte Fahren [2] (Automatic Train Operation, ATO) im sogenannten Automatisierungsgrad 2 (Grade of Automation – GoA 2, siehe auch Definition in IEC 62290-1:2014 [16]) eingeführt. Startpunkt für einen Rollout in der Fläche ist der DKS. Im ATO-GoA 2-Betrieb sollen Züge automatisch beschleunigen, fahren, bremsen und halten, während ein Triebfahrzeugführer weiterhin an Bord ist, um bei Störfällen, im Abfertigungsprozess oder in besonderen betrieblichen Situationen einzugreifen. Mit ATO GoA 2 kann der Zugbetrieb energiesparender, stabiler und besser vorhersehbar gemacht werden. Die DSD verfolgt dabei konsequent das Ziel, „ATO over ETCS“ auf Basis von ETCS Level 2 zu implementieren. Neben der europäischen Interoperabilität hat ETCS den entscheidenden Vorteil, dass notwendige Informationen wie eine Fahrterlaubnis bereits digital an den Zug übertragen werden.

Für die Einführung von ATO GoA 2 entwickelt und testet die DSD nach Europäischen Normen zusammen mit einem Industriepartner ein streckenseitiges System, die sogenannte ATO-Zentrale (ATO-Centre/ATO-C). Um die Gesamtfunktionalität ATO GoA 2 zu gewährleisten, muss außerdem ein ATO-Steuergerät in den Fahrzeugen implementiert werden. Die DSD setzt erstmalig einen flächendeckenden ATO GoA 2-Betrieb im Rahmen des Pilotprojekts „Digitaler Knoten Stuttgart“ (DKS) [3, 4] um. Dafür werden zunächst 481 Fahrzeuge mit ATO On-Board Units ausgestattet sowie der gesamte Großraum Stuttgart (ca. 500 Streckenkilometer) mit den notwendigen streckenseitigen Komponenten für hochautomatisiertes Fahren ausgerüstet.

Das Stuttgarter Projekt dient als Vorbild für die weitere Entwicklung und den Flächenrollout der Technologie in anderen Verkehrsregionen und -korridoren.

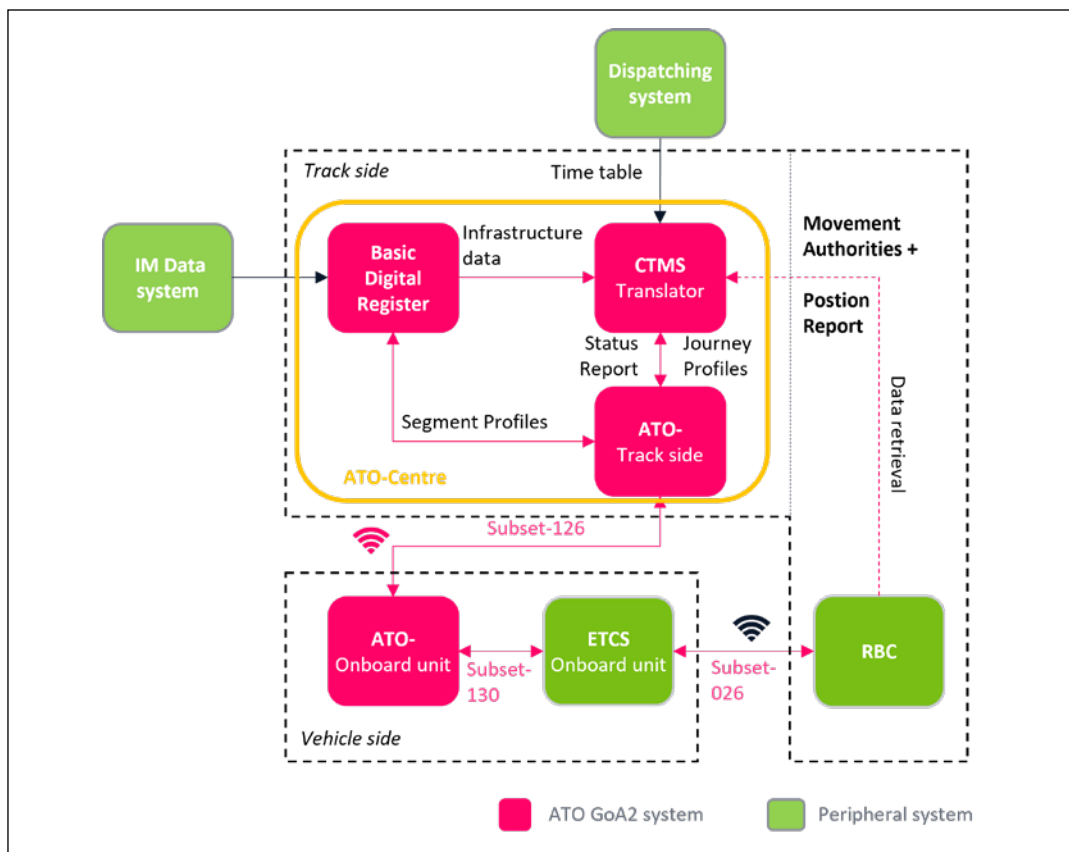
**D**igital infrastructure data constitutes an important basis for highly automated driving. The newly defined ATO planning process will be used for the first time as part of the ATO GoA 2 rollout at the Stuttgart Digital Node. It is of central importance that the ATO infrastructure data creation is decoupled from the planning of the control-command and signalling system. This reduces its complexity and makes it possible to adapt the ATO infrastructure data at the runtime. This article provides an overview of the Digitale Schiene Deutschland (DSD) ATO GoA 2 system architecture, explains the new ATO planning process and outlines the associated effects on the sector.

## 1 Introduction

### 1.1 The development of highly automated driving – a milestone for DSD

Highly automated driving [2] (Automatic Train Operation, ATO) in so-called Grade of Automation 2 (GoA 2, also see the definition in IEC 62290-1:2014 [16]) has been introduced as part of the Digitale Schiene Deutschland sector initiative [1]. The Stuttgart Digital Node is the starting point for the rollout in this area. In ATO GoA 2 operations, trains should accelerate, run, brake and stop automatically, while a train driver remains on board to intervene in the event of any incidents during the embarking and disembarking process or in special operational situations. ATO GoA 2 means that train operations can be made more energy-efficient, stable and predictable and ATO GoA 2 is a cornerstone for the further digitalisation of the railway. DSD has consistently pursued the goal of implementing “ATO over ETCS” based on ETCS Level 2. In addition to European interoperability, ETCS also has the decisive advantage that all the necessary information such as the driving authorisation is transmitted to the train digitally.

DSD is developing and testing a trackside system for the introduction of ATO GoA 2, the so-called ATO Centre (ATO-Centre/ATO-C), with an industrial partner according to the European standards. The implementation of the ATO GoA 2 functionality also requires the installation of an ATO on-board control unit in the relevant vehicles. DSD is implementing comprehensive ATO GoA 2 operations for the first time as part of the „Digitaler Knoten Stuttgart“ (DKS, Stuttgart Digital Node) pilot project [3][4]. As such, a total of 481 vehicles will be equipped with ATO on-board units and the entire greater Stuttgart area (approximately 500 kilometres of track) will be equipped with the necessary trackside components for highly automated driving.



**Bild 1: ATO-GoA 2-Systemarchitektur der Digitalen Schiene Deutschland**

Fig. 1: The Digitale Schiene Deutschland ATO GoA 2 system architecture

Quelle / Source: DSD / DB InfraGo AG

Außerdem bildet das ATO-Centre auch die Grundlage für die nächste Stufe der Digitalisierung im deutschen Bahnsystem – die Einführung des vollautomatisierten, fahrerlosen Fahrens im Automatisierungsgrad GoA 4 [5]. Zusammen mit einem intelligenten Kapazitäts- und Verkehrsmanagementsystem (Capacity and Traffic Management System, CTMS) kann dann die Kapazität im bestehenden Netz deutlich erhöht werden [17]. Zukünftig soll auch im Fernverkehr hochautomatisiertes Fahren Einzug halten (siehe unter anderem auch [7, 8]).

**1.2 ATO-GoA 2-Systemarchitektur der DSD**

Grundsätzlich handelt es sich bei ATO GoA 2 over ETCS um ein europäisch standardisiertes, interoperables System. Für die Deutsche Bahn AG (DB) wird dieses System mit folgender Systemarchitektur umgesetzt (Bild 1).

Die zentralen ATO-Systemkomponenten sind das ATO-Fahrzeuggerät (ATO-Onboard unit, ATO-OBU) und das ATO-Streckengerät (ATO-Trackside, ATO-TS). Diese beiden Systeme sowie die dazwischenliegende OverTheAir-Schnittstelle sind in den zentralen Subsets (SS) [14, 15] spezifiziert, die im Rahmen der Technische Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI) 2023 in einer Version v1.0.0 veröffentlicht worden sind. Auf der Streckenseite ergänzt die DSD die Systemarchitektur mit den Subsystemen Basic Digital Register (Basic-DR) und CTMS-Translator (CTMS-T) [18]. Der CTMS-T dient dabei als Schnittstelle und Übertragungssystem zwischen dem zentralen Dispositionssystem und ATO-TS. Das Basic DR wiederum stellt für beide Subsysteme, CTMS-T und ATO-TS die aktuellen ATO-relevanten Infrastrukturdaten zur Laufzeit zur Verfügung. Diese drei Subsysteme bilden die „ATO-Zentrale“ (ATO-Centre).

**2 ATO-Planungsprozess**

Die ATO-relevanten Infrastrukturdaten bilden die streckenseitige Grundlage für das hochautomatische Fahren. Die Erstellung dieser

The Stuttgart project serves as a model for the further development and rollout of the technology in other transport regions and corridors.

The ATO Centre also forms the basis for the next stage of digitalisation in the German rail system – the introduction of fully automated, driverless driving at the GoA 4 level of automation [5]. The existing network capacity will then be significantly increased when combined with a capacity and traffic management system (CTMS) [17]. Highly automated driving will also be introduced to long-distance transport in the future (see also [7, 8]).

**1.2 The DSD ATO GoA 2 system architecture**

ATO GoA 2 over ETCS is a European standardised, interoperable system. DSD has implemented this system for Deutsche Bahn AG (DB) with the following system architecture (fig. 1).

The central ATO system components are the ATO on-board unit (ATO-OBU) and the ATO trackside unit (ATO-TS). These two systems and the air gap interface between them are organised in the subsets (SS) [14, 15] that have been published in version v1.0.0 as part of the Technical Specifications for Interoperability (TSI) 2023. DSD has supplemented the trackside system architecture with the Basic Digital Register (Basic-DR) and CTMS-Translator (CTMS-T) subsystems [18]. The CTMS-T serves as an interface and transmission system between the central dispatching system and ATO-TS. The Basic DR provides the current ATO-relevant infrastructure data for both subsystems, the CTMS-T and ATO-TS, at runtime. These three subsystems form the „ATO centre“ (ATO-Centre).

**2 The ATO planning process**

The ATO-relevant infrastructure data constitutes the trackside basis for highly automated driving. This data is created in the

Daten erfolgt in einem ATO-Planungsprozess. Dieser Planungsprozess wurde zunächst für das Projekt DKS zusammen mit den involvierten Stakeholdern entworfen und wird parallel für den Flächenrollout von ATO weiterentwickelt. Im ATO-Planungsprozess müssen zwei Dimensionen unterschieden werden: zum einen die Planung von ETCS-Balisen, die als „ATO-Datenpunkte“ (auch „ATO-Balisen“) fungieren, zum anderen die Konfiguration der ATO-Infrastrukturdaten an sich, auch als „ATO-Konfigurationsprozess“ zusammengefasst. Startpunkt für den Prozess sind immer die Anforderungen des Bestellers aus der Betrieblichen (BAst), Verkehrlichen (VAst) und Technischen Aufgabenstellung (TAst). Bild 2 skizziert diesen ATO-Planungsprozess.

**2.1 Planung ATO-Datenpunkte (ETCS-Balisen)**

ATO GoA 2 kann im Beispiel DKS im Standard mit einer maximalen Halteungenaugigkeit von +/-2,0 m umgesetzt werden. In konkreten Situationen ist jedoch ein hochpräziser Halt mit einer verbesserten Halteungenaugigkeit (ATO-Präzisionshalt) nötig, um z. B. die verfügbare Gleis- oder Bahnsteignutzlänge besser auszunutzen, um präziser an Videoanlagen für den Triebfahrzeugführer zu halten oder um die Streuung der tatsächlich erreichten Halteplätze zu vermindern. Um mit dem in Bild 1 skizzierten ATO-GoA 2-Gesamtsystem einen hochpräzisen Halt mit einer Halteungenaugigkeit von mindestens +/-0,5 m zu ermöglichen, muss unter anderem sichergestellt werden, dass im Zulauf auf den Halteplatz in bestimmten Bereichen vor dem Halteplatz ETCS-Balisen mit Ortungsfunktion verlegt sind. Sind derartige ETCS-Balisen in den entsprechenden Installationsfenstern nicht vorhanden, müssen zusätzliche ETCS-Ortungsdatenpunkte als ATO-Datenpunkte geplant und implementiert werden.

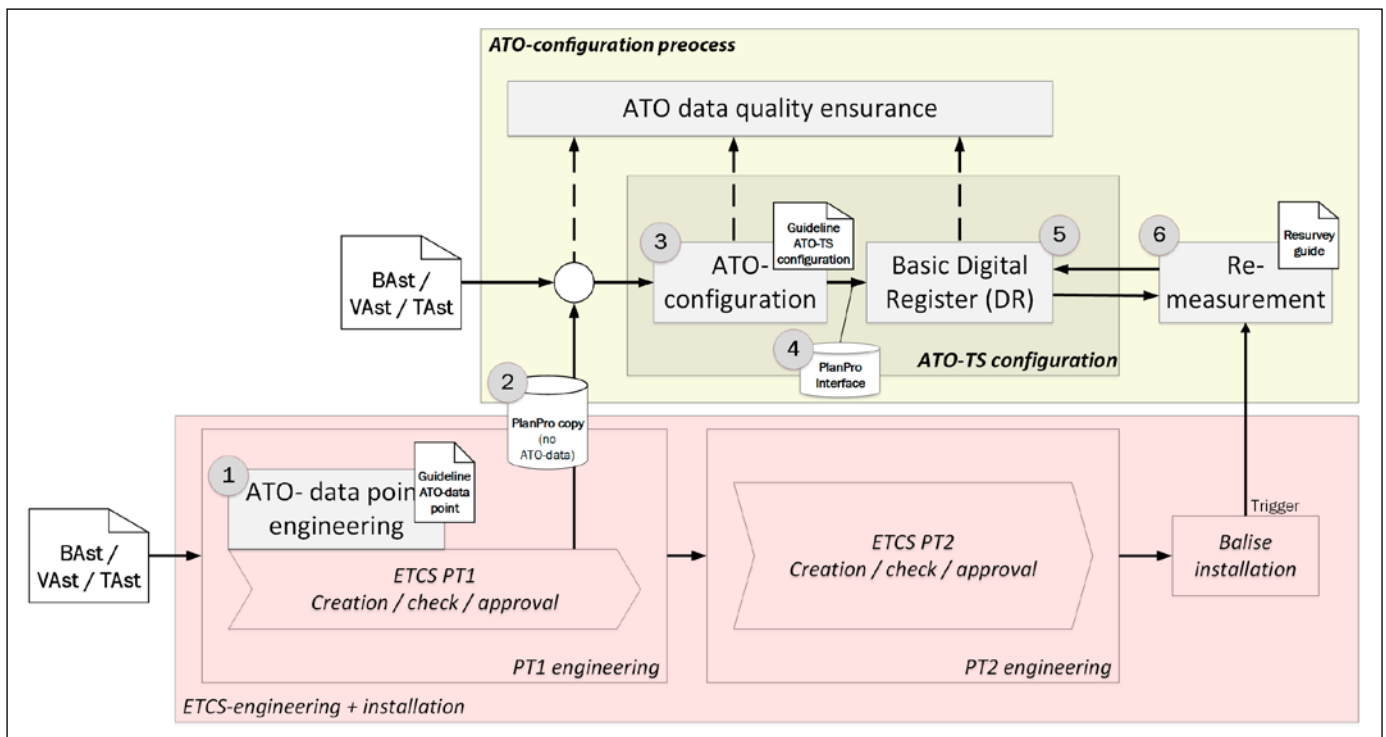
Die Planung und Implementierung der ATO-Datenpunkte wird als integraler Bestandteil der ETCS-Projektierung (Planteil 1, PT1, Schritt 1) umgesetzt und ist Bild 2 im unteren, rot markierten Bereich der Abbildung vereinfacht dargestellt. Die Übergabe (Schritt 2) dieser ETCS-

ATO planning process. This planning process was initially designed for the DKS project together with the involved stakeholders and is being further developed in parallel with the rollout of ATO GoA 2. A distinction must be made between two dimensions in the ATO planning process: firstly, the planning of ETCS balises which act as “ATO data points” (also “ATO balises”) and secondly, the configuration of the ATO infrastructure data itself, also summarised as the “ATO configuration process”. The starting point for the process always involves the customer’s requirements for the operational (BAst), transport (VAst) and technical (TAst) tasks. Fig. 2 outlines this ATO planning process.

**2.1 Planning ATO data points (ETCS balises)**

ATO GoA 2 will be implemented in the DKS project as standard with a maximum stopping inaccuracy of ± 2.0m. However, certain situations require a high-precision stop with improved stopping accuracy (an ATO precision stop), for example in order to better utilise the available track or platform length, to stop more precisely at the video systems for the train driver or to reduce the spread of the reached stopping positions. Working with the overall GoA 2 system outlined in Fig. 1 requires the installation of ETCS balises with a localisation function in the approach to the stopping place and at relevant places in front of the stopping point. If such ETCS balises are not available within the corresponding installation windows, additional ETCS localisation data points must be planned and implemented as ATO data points.

The planning and implementation of the ATO data points is realised as an integral part of the ETCS engineering (Planteil 1, PT1) and are shown in Step 1 of fig. 2 in the lower area marked in red. The transfer (Step 2) of this ETCS PT1 planning to the ATO configuration process (Step 3) is explained in detail in Section 2.4.1. This transfer takes place as part of the digital engineering in the PlanPro format and is a basic prerequisite for



**Bild 2: Der ATO-Planungsprozess umfasst sieben Schritte.**

Fig. 2: The ATO planning process comprises seven steps.

Quelle / Source: DB InfraGO AG

PT1-Planung an den ATO-Konfigurationsprozess (3 und 4) wird im Abschnitt 2.4.1 detailliert erläutert. Diese Übergabe geschieht in Rahmen der Digitalen Planung im PlanPro-Format und ist eine Grundvoraussetzung für die Übergabe der Daten über das DR-Datenmanagement an das Basic DR (Schritt 5) im nächsten Prozessschritt.

Zusätzlich muss der sechste Prozessschritt „Nachvermessung“ nach erfolgter Balisenmontage eingeplant werden. Dabei wird die Positionsgenauigkeit von ETCS-Balisen und von relevanten signaltechnischen Elementen im Zulauf auf einen Halteplatz mit Präzisionshalt erhöht (von +/-1,0 m aus dem ETCS-Projektierungs- und -Implementierungsprozess auf bis zu +/-0,1 m, siehe auch Abschnitt 2.4.3).

## 2.2 ATO-Konfigurationsprozess

Im „ATO-Konfigurationsprozess“ werden die ATO-Infrastrukturdaten erzeugt und in die ATO-Centre Systemarchitektur integriert. Die Benennung „Konfiguration“ anstatt „Planung“ ist dabei bewusst gewählt, um eine weitere Abgrenzung zur klassischen LST-Planung zu erreichen. Bei diesen ATO-Infrastrukturdaten handelt es sich insbesondere um Parameter, die im Kontext von Subset-126 [15] auf der Schnittstelle zwischen ATO-OB und ATO-TS spezifiziert sind, wie z. B.:

1. Pro ATO-TS-Instanz (für einen Infrastrukturbereich verantwortliches ATO-TS-System):
  - i. Die Kennung oder ID einer ATO-TS-Instanz, zusammengesetzt aus der ETCS-Gebietskennung und ein laufender Bezeichner für die jeweilige ATO-TS-Instanz
  - ii. Die Vergabe des Bezeichners ist deutschlandweit zentral geregelt, da es keine Wiederholungen im Bereich einer ATO-Instanz geben darf.
2. Parameter pro Segment Profil (SP, Infrastrukturabschnitt im ATO-Format):
  - i. Basierend auf dem grundlegenden topologischen Knoten-Kanten-Modell wird auf jeder Kante zwischen zwei Weichen ein Segment Profil geplant.
  - ii. Pro Segment Profil werden weitere Parameter definiert
3. Parameter und Definition pro Timing Points (TP, virtuelle Punkte in der Infrastruktur):
  - i. Definition von Timing Points und deren virtuelle Verortung in der Infrastruktur (beispielhaft im Projekt DKS u. a. an Signalen, an H-Tafeln, an Orientierungszeichen „Zuglänge“ sowie an der Bahnsteigmitte und den Bahnsteigenden)
  - ii. Definition weiterer Parameter für jeden Timing Point

Diese ATO-Infrastrukturdaten werden auf Basis von ETCS-PT1-Daten sowie den grundlegenden Regelwerken konfiguriert. Dazu werden zu Beginn des ATO-Konfigurationsprozesses nach der PT1-Planprüfung die vollständigen ETCS-PT1-Daten wie oben erwähnt im Rahmen der Digitalen Planung als PlanPro-Kopie in den Prozess übergeben. Da es sich um eine Kopie der ETCS-PT1-Daten handelt, ist sichergestellt, dass aus dem ATO-Konfigurationsprozess keine etwaigen Änderungen in den LST-Planungsprozess zurückgespielt werden müssen. Damit sind beide Prozesse unabhängig voneinander, und der ATO-Konfigurationsprozess kann komplett getrennt vom weiteren ETCS-Planungsprozess durchlaufen werden.

Im nächsten Schritt „ATO-Konfiguration“ werden die spezifischen ATO-Infrastrukturdaten erzeugt. Dieser Schritt findet derzeit noch manuell statt und erfolgt mit den Werkzeugen und Umgebungen der jeweiligen Planungsbüros. In der weiteren Entwicklung ist geplant, dass die Erzeugung der ATO-Infrastrukturdaten schrittweise immer weiter automatisiert wird und im Basic DR erfolgt.

Nach dem Schritt „ATO-Konfiguration“ werden die initialen ETCS-PT1-Daten und die erzeugten ATO-Infrastrukturdaten wiederum über eine PlanPro-Schnittstelle an das Basic DR Datenmanagement und damit an das Tool Basic DR übermittelt. Hier erfolgen weitere toolgestützte, au-

transferring the data to the Basic DR using DR data management (Step 5) in the next process step.

In addition, the “re-measurement” process step (Step 6) must also be performed once the installation of the balises has been completed. This involves increasing the positional accuracy of the ETCS balises and relevant signalling elements in the approach to a stopping point with a precision stop (from  $\pm 1.0\text{m}$  in the ETCS project planning and implementation process up to  $\pm 0.1\text{m}$ , see also Section 2.4.3).

## 2.2 The ATO configuration process

The ATO infrastructure data is generated and integrated into the ATO Centre system architecture in the “ATO configuration process”. The term “configuration” has been deliberately chosen instead of “engineering” in order to further differentiate it from any classic signalling system planning or engineering.

This ATO infrastructure data relates to parameters that are used on the interface between ATO-OB and ATO-TS within the context of Subset-126 [15], for example:

1. for every ATO-TS instance (the ATO-TS system responsible for an infrastructure area):
  - i. the identifier or ID of an ATO-TS instance, composed of the ETCS area identifier and a sequential identifier for the respective ATO-TS instance
  - ii. the allocation of the identifier is regulated centrally throughout Germany, as no repetitions are allowed in the area of an ATO instance.
2. the parameters for every segment profile (SP, infrastructure section in ATO format):
  - i. a segment profile is planned at each edge between two turnouts based on the basic topological node-edge model
  - ii. further parameters are defined for each segment profile
3. the parameters and definition for every timing point (TP, virtual points in the infrastructure):
  - i. the definition of the timing points and their virtual locations in the infrastructure (examples in the DKS project include TPs at signals, at H boards, at „train length” orientation signs and at the centre or the ends of platforms)
  - ii. the definition of further parameters for each timing point

This ATO infrastructure data is configured based on ETCS PT1 data and basic rules and regulations. For this purpose, the complete ETCS PT1 data is transferred to the process as a PlanPro copy at the start of the ATO configuration process after the PT1 plan approval as part of digital engineering, as mentioned above. As this involves a copy of the ETCS PT1 data, it is ensured that no changes from the ATO configuration process need to be imported back into the signalling system engineering process. This means that both processes are independent of each other and the ATO configuration process can be run completely separately from the rest of the ETCS planning process.

The specific ATO infrastructure data is generated in the next step, i.e. “ATO configuration”. This step is currently still carried out manually using the tools and environments of the respective planning offices. The plan is for the ATO infrastructure data to be generated automatically step by step in any further development and this will take place in the Basic DR.

After the “ATO configuration” step, the initial ETCS PT1 data and the generated ATO infrastructure data are transferred to the Basic DR Data Management and thus to the Basic DR tool using a PlanPro interface. Further tool-supported, automatic or semi-automatic processing steps take place there (see Section 2.4.2). The Basic DR forms the



tomatische oder semi-automatische Verarbeitungsschritte (siehe Abschnitt 2.4.2.). Im ATO-Konfigurationsprozess bildet das Basic DR damit die Datenquelle, aus der die aktuellen Daten an die beteiligten Subsysteme CTMS-T und ATO-TS verteilt werden.

Außerdem ermöglicht das Basic DR eine toolgestützte Validierung und damit Qualitätssicherung [13].

Als letzten und nachlaufenden Schritt ermöglicht das Basic DR eine einfache Integration von Nachvermessungsdaten. Der Prozessschritt „Nachvermessung“ ist im Zusammenhang mit ATO-Präzisionshalten vorzusehen (wie im Abschnitt 2.1 beschrieben). Um den Prozessschritt „Nachvermessung“ anzustoßen, wird aus dem Basic DR eine digitale Liste von Elementen extrahiert, die nachvermessen werden sollen. Nach der Nachvermessung wird diese Liste mit den präziseren Positionsdaten pro Element wieder digital in das Basic DR übergeben. Eine Übertragung der präziseren Positionsdaten in der LST-Planung erfolgt nicht (siehe auch Abschnitt 2.4.3).

### 2.3 Regulative Basis

Für die ersten Schritte in der ATO-Planung und im Projekt DKS wurden als regulatorische Grundlagen sog. Leitfäden „Planung ATO-Präzisionshaltedatenpunkte“ [9] und „Planung ATO-TS“ [10] erstellt und freigegeben. Diese ATO-Planungsvorgaben wurden zum einen durch die Vorgaben aus den Aufgabenstellungen und zum anderen durch das DKS-spezifische Dokument „Konkretisierung örtlicher Besonderheiten für die PT1-/PT2-Planung Digitaler Knoten Stuttgart, Baustein 1+2“ [11] ergänzt.

Für die DKS spezifische Nachvermessung gilt in erster Linie der Leitfaden „Nachvermessung“ [12] und für die vermessungstechnischen Regeln die Richtlinienfamilie 883 „Gleis- und Bauvermessung“ des DB-Regelwerks. Für die nachfolgenden Projekte und insbesondere für den geplanten ATO-Rollout (siehe Abschnitt 1.1) wurden bzw. werden die Leitfäden in Regelwerke überführt. Der Leitfaden „Planung ATO-Präzisionshaltedatenpunkte“ [9] wurde zum 1. Juli 2024 in die Weisung zur Betriebserprobung (02-03-05-02-01-W-102) „ATO-Datenpunkte“ inklusive Anlage überführt. Mit dieser Weisung ist die Planung von ATO-Datenpunkten fester Bestandteil der ETCS-PT1-Planung geworden und unterliegt den Prozessvorgaben.

Der Leitfaden „Planung ATO-TS“ [10] wiederum wird in eine eigenständige Richtlinie der neuen Richtlinienfamilie 848 „Digitale Bahntechnik planen und bauen“ des DB-Regelwerks überführt und bleibt damit unabhängig von der eigentlichen LST- bzw. ETCS-Planung. Hier ist auch eine teilweise Integration des Leitfadens „Nachvermessung“ geplant. Ein Großteil der Regelungen zur Nachvermessung soll jedoch idealerweise in die Richtlinienfamilie 883 übergehen.

### 2.4 Neuerungen im ATO-Konfigurationsprozess

Basierend auf der obigen Prozessbeschreibung werden in den nachfolgenden Abschnitten einige Details und Neuerungen näher beschrieben. Insgesamt kann festgestellt werden, dass insbesondere der abgesetzte ATO-Konfigurationsprozess durch die Trennung vom LST- und ETCS-Planungsprozess schneller umsetzbar bzw. durchlaufbar ist, sodass auf Änderungen und Rückmeldungen auch aus dem Betrieb schneller reagiert werden kann.

#### 2.4.1 Übergabe der ATO-Konfigurationsdaten an Basic DR

Die Erstellung der ATO-Konfigurationsdaten kann grundsätzlich durch zwei Ansätze erfolgen:

1. Halbautomatisiert: manuell durch einen Planer und anschließend in automatisierten Prozessen im Basic DR
2. Vollautomatisiert: Bei vollautomatisierten Prozessen werden im Basic DR alle ATO-Konfigurationsdaten automatisch durch das Tool erzeugt und validiert.

data source in the ATO configuration process from which the current data is distributed to the involved CTMS-T and ATO-TS subsystems. In addition, the Basic DR enables tool-supported validation and quality assurance [13].

As a final and subsequent step, the Basic DR enables the simple integration of any re-measurement data. The „re-measurement“ process step must be provided in connection with ATO precision stops (as described in Section 2.1). A digital list of elements to be re-measured is extracted from the Basic DR in order to initiate the “Re-measurement” process step. After the re-measurement, this list is digitally transferred back to the Basic DR with more precise positioning data for each element. The more precise positioning data is not transferred during the signalling system engineering process (also see Section 2.4.3).

### 2.3 The regulatory basis

The “Engineering ATO precision control data points” [9] and “Engineering ATO-TS” [10] guidelines (Leitfaden) have been created and released for the first steps in ATO engineering, especially in the DKS project. These ATO engineering guidelines have been supplemented, amongst other things, by the DKS-specific “Konkretisierung örtlicher Besonderheiten für die PT1-/PT2-Planung Digitaler Knoten Stuttgart, Baustein 1+2” document [11].

The “Re-measurement” guideline [12] primarily applies to the DKS-specific re-measurement, while the “Track and Construction Surveying” 883 guideline set from the DB regulations applies to the surveying rules. The guidelines have been or will be converted into regulations (Richtlinien or Weisungen) for the following projects and in particular for the planned ATO rollout (see Section 1.1). The “Engineering ATO precision control data points” guideline [9] has been transferred to the “ATO data points” directive for operational testing (Weisung zur Betriebserprobung) (02-03-05-02-01-W-102), including the annexes. With this directive, the engineering of ATO data points has become an integral part of ETCS PT1 engineering and is subject to the process specifications.

The „ATO-TS engineering“ guideline [10] will be transferred to an independent guideline (Richtlinie) in the new “Digitale Bahntechnik planen und bauen” 848 guideline set from the DB regulations and will thus remain independent of the actual signalling system or the ETCS engineering. A partial integration of the “Re-measurement” guideline is also planned here. Ideally, however, a large part of the re-measurement regulations should be transferred to the existing 883 guideline set.

### 2.4 Innovations in the ATO configuration process

Some topics have been explicitly highlighted or described in more detail in the following sections based on the process described above. In general, it can be stated that the remote ATO configuration process in particular can be implemented and run through more quickly thanks to its separation from the signalling system and ETCS engineering process, so that any changes and feedback from operations can also be responded to more quickly.

#### 2.4.1 Transferring ATO configuration data to the Basic DR

The ATO configuration data can be created using two approaches:

1. the semi-automated approach: initially manually by a planner, followed by automated processes in the Basic DR.
2. the fully automated approach: in fully automated processes, all the ATO configuration data is automatically generated and validated by a tool in the Basic DR.

Im Projekt DKS wird der halbautomatisierte Ansatz verfolgt. Die Daten werden zuerst durch den manuellen Prozess als ATO-Konfigurationsdaten erzeugt und dann an das Basic DR übertragen. Bei der Übergabe wird PlanPro als Übergabeformat verwendet. Das Basic DR reichert diese Grunddaten weiter an.

#### 2.4.2 Verarbeitung und Bereitstellung im DR

Die Aufgabe des Basic DR [6, 13] ist es, zuverlässige Infrastrukturdaten an ATO-TS und CTMS-T während der Laufzeit bereitzustellen. Um dies zu ermöglichen, sind unter anderem folgende Primärfunktionen im Basic DR implementiert:

1. Datenimport sowie Datentransformation
2. Datenanreicherung durch die automatische Konfiguration von weiteren Parametern
3. Datenkompilierung sowie Datenbereitstellung
4. Datenvalidierung basierend auf generischen Regeln (z. B. Einhaltung der maximalen Segment Profile Länge)
5. Datenverwaltung (DR Data Management) über grafische Benutzeroberfläche (GUI)

#### 2.4.3 Nachvermessung

Wie im Abschnitt 2.1 beschrieben, ist ein Prozessschritt „Nachvermessung“ im Zusammenhang mit ATO-Präzisionshalten vorzusehen, der die höheren Anforderungen an die Positionsgenauigkeit von relevanten Infrastrukturelementen (siehe Abschnitt 2.4.3.2) umsetzt.

Für das Projekt DKS ist eine Präzisionsanforderung von  $\pm 0,1$  m (1 Sigma) festgelegt. Die Daten aus dem heutigen LST-Planungsprozess und der Montage erfüllen diese Präzisionsanforderung nicht. Um die Erfüllung der Präzisionsanforderung sicherzustellen, wurde der Nachvermessungsprozess im Rahmen des Projekts DKS umgesetzt, der sich gem. Prozess (Bild 2) an die Balisenmontage anschließt.

Nachfolgend werden folgende Aspekte detailliert beschrieben:

1. Die Anforderungen an den Nachvermessungsprozess
2. Infrastruktureobjekte, die nachvermessen werden müssen
3. Geforderter Output sowie Attribute, die aus dem Nachvermessungsprozess geliefert werden müssen.

Auf dieser Grundlage wird die Nachvermessung vom Vermessungsingenieur/Ingenieurbüro durchgeführt. Die zur Durchführung der Nachvermessung erforderlichen Werkzeuge sind nicht Teil der Definition des Nachvermessungsprozesses.

##### 2.4.3.1 Anforderungen an den Nachvermessungsprozess

Hierbei werden einige grundsätzliche Anforderungen an den Prozess definiert, wie z. B.:

- Trigger/Situationen, wann der Prozess gestartet und durchgeführt werden muss
- Referenzpunkte auf der Strecke für Nachvermessung (z. B. geometrischer Anfang der Weiche, Mitte/Fuß des Elements usw.)
- erforderlicher Output aus der Nachvermessung, Datenformate, Liefergegenstände, usw.

##### 2.4.3.2 Nachvermessene Infrastruktureobjekte

Als relevant für die Nachvermessung wurden im Rahmen des Projekts DKS folgende Infrastruktureobjekte definiert:

- Haltetafeln (H-Tafeln)
- Signale/ETCS Marker Boards (Ne-14-Tafeln)
- Orientierungszeichen „Zuglänge“
- Balisen
- Bahnsteigenden
- Gleiskantenlänge.

The semi-automated approach is followed in the DKS project. The data is first generated as ATO configuration data using the manual process and then transferred to the Basic DR. PlanPro is used as the transfer format for this. The Basic DR further enhances this basic data.

#### 2.4.2 Processing and provision in the DR

The task of the Basic DR [6, 13] is to provide reliable infrastructure data to ATO-TS and CTMS-T during runtime. In order to enable this, the following primary functions are implemented in the Basic DR:

1. data import and data transformation
2. data enhancement through the automatic configuration of additional parameters
3. data compilation and data provision
4. data validation based on generic rules (e.g. compliance with the maximum segment profile length)
5. data management (DR Data Management) via graphical user interface (GUI)

#### 2.4.3 Re-measurement

As described in Section 2.1 a “re-measurement” process step that meets the higher requirements for the positional accuracy of relevant infrastructure elements must be provided in connection with ATO precision stops (see Section 2.4.3.2).

A precision requirement of  $\pm 0.1$  m (1 sigma) has been defined for the DKS project. The data from the current signalling system engineering process and assembly do not fulfil this precision requirement. The re-measurement process has been implemented as part of the DKS project (fig. 2) in order to ensure that the precision requirement is fulfilled.

The following aspects are described in detail below:

1. the requirements for the re-measurement process
2. the infrastructure objects that need to be re-measured
3. the required output and attributes that must be supplied from the re-measurement process.

The surveyor/engineering office will carry out the re-measurement on this basis. The tools required to carry out the re-measurement are not included in the definition of the re-measurement process.

##### 2.4.3.1 The requirements for the re-measurement process

Several basic requirements have been defined for the process, such as:

- triggers/situations when the process must be started and executed
- reference points on the track for re-measurement (e.g. the geometric start of the turnout, the centre/foot of the element, etc.)
- the output required from the re-measurement, data formats, delivery items, etc.

##### 2.4.3.2 The surveyed infrastructure objects

The following infrastructure objects have been defined as relevant for re-measurement as part of the DKS project:

- holding plates (H-panels – H-Tafeln)
- signals/ETCS marker boards (Ne14 boards)
- “Train length” orientation signs (“Orientierungszeichen Zuglänge“)
- ETCS balises
- platform ends
- the track edge length.

The specific survey reference position and start reference position are also defined for each infrastructure object within this context, e.g. an H-panel is surveyed at the base of the element (fig. 3).

In diesem Zusammenhang wird auch für jedes Infrastrukturobjekt die konkrete Vermessungsreferenzposition sowie Startreferenzposition definiert, z. B. eine H-Tafel wird am Fuß des Elements (Bild 3) vermessen.

#### 2.4.3.3 Geforderter Output sowie Attribute

Außerdem spezifiziert der Nachvermessungsprozess eine Liste von erforderlichen Objekten und Attributen, die als Output geliefert werden müssen:

- Element-ID, Name
- Gleiskanten, Knoten, Strecken Referenzen
- Versionsinformation
- Relativ vermessene Position (bzw. Offset)
- Absolute Koordinaten (x,y)
- Status des vermessenen Elements (vermessen, nicht vermessen usw.).

Darüber hinaus wird das Datenformat für den Output festgelegt, der im Rahmen der weiteren Digitalisierung nur maschinenlesbar ist. Im letzten Schritt des Nachvermessungsprozesses werden die nachvermessenen Daten zurück an das Basic DR übertragen. Im Basic DR werden anhand dieser Daten die bestehenden Positionsdaten korrigiert. Nach dieser Korrektur wird ein Bericht erstellt, der die gemessenen Abweichungen dokumentiert und zum einen für den ATO-Konfigurationsprozess als Qualitätsschritt dient sowie zum anderen aber auch in den LST-Planungsprozess übergeben werden kann.

#### 2.4.4 Infrastrukturdatenanpassung zur Laufzeit

Neben der einfachen Integration der Nachvermessungsdaten in das Basic DR bietet die vorgestellte ATO-Centre-Systemarchitektur den Vorteil, dass ein Teil der ATO-Infrastrukturdaten im laufenden Betrieb angepasst werden kann, ohne das System ATO-Centre außer Betrieb zu nehmen. Dies betrifft insbesondere die ATO-Infrastrukturdaten, die im Rahmen der ATO-Konfiguration definiert werden. Ein prägnantes Beispiel ist die Anpassung oder Neu-Definition von Timing Points (TP, in der Infrastruktur verortete Punkte, die ein Fahrzeug ATO-gesteuert zu einem geplanten Zeitpunkt zu erreichen versucht). Während des Betriebs kann sich aus Sicht eines Eisenbahnverkehrsunternehmens (EVU) z. B. die Anforderung ergeben, dass ein zusätzlicher TP geplant wird oder ein bestehender TP eine andere Bezeichnung erhalten soll. Diese Anforderung für einen zusätzlichen TP kann sich z. B. durch einen neuen Halteplatz für Züge am Bahnsteig aus den betrieblichen Erfahrungen ergeben. Das EVU kommuniziert in einem strukturierten Prozess seine Änderung an die Systemverantwortung von ATO-Centre. Die technische Umsetzung erfolgt dann direkt im Basic DR, über die Schritte Konfiguration der neuen Daten, toolgestützte Validierung und Versionierung bis hin zur Aktivierung für die Nutzung im Betrieb.

### 3 Fazit und Ausblick

Für den angestrebten deutschlandweiten Rollout von ATO GoA 2 bei der DSD ist der Prozess der ATO-Infrastrukturdatenerstellung und die zentralisierte Infrastrukturdatenverwaltung im Basic DR ein entscheidender Baustein. Mit der gewählten streckenseitigen Systemarchitektur ist die technische Voraussetzung für einen effizienten, digitalen Rollout gelegt. Für den weiteren Prozess muss die regulative Basis, vor allem die Richtlinie für den ATO-Konfigurationsprozess, finalisiert werden. Sie definiert die Verzahnung zwischen den manuellen und den (semi-)automatischen Konfigurationsschritten.



**Bild 3: Referenzposition des Elements**

Fig. 3: The element's reference position Quelle / Source: Harish Narayanan / Nextrail GmbH

#### 2.4.3.3 The required output and attributes

In addition, the re-measurement process also specifies a list of required objects and attributes that must be provided as an output:

- the element ID, name
- the track edges, junctions, route references
- the version information
- the relative measured position (or offset)
- the absolute coordinates (x,y)
- the status of the measured element (measured, not measured, etc.).

In addition, the data format has also been defined for the output, which is only machine-readable within the context of any further digitalisation.

The re-measured data is transferred back to the Basic DR in the final step of the re-measurement process. The Basic DR uses this data to correct the existing positional data. Once this correction has been made, a report is created that documents the measured deviations and, on the one hand, serves as a quality step for the ATO configuration process, while also being able to be transferred to the signalling system planning process on the other.

#### 2.4.4 Infrastructure data customisation at runtime

In addition to the simple integration of the re-measurement data into the Basic DR, the presented ATO-Centre system architecture also offers the advantage that some of the ATO infrastructure data can be adapted during operation without taking the ATO-Centre system out of operation. This applies in particular to the ATO infrastructure data that is defined as part of the ATO configuration. A striking example involves the adaptation or re-definition of timing points (TP, points located in the infrastructure that a vehicle attempts to reach at a planned time under ATO control). During operations, a railway undertaking (RU) may, for example, request that an additional TP be engineered



Der aktuelle (Zwischen-)Stand wird schrittweise durch die Überführung weiterer manueller Konfigurationsschritte in das Basic DR mit dem Ziel erweitert, einen vollständig automatischen Konfigurationsprozess zu schaffen. Durch den automatisierten Prozess wird eine schnellere, konsistente, lückenlose und zuverlässigere Erstellung der ATO-Konfigurationsdaten sowie deren Aktualisierung ohne Unterbrechung des laufenden Betriebs in Zukunft sichergestellt. ■

#### LITERATUR | LITERATURE

- [1] Digitale Schiene Deutschland, [https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/189\\_208\\_Fiack\\_etal.pdf](https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/189_208_Fiack_etal.pdf)
- [2] Digitaler Knoten Stuttgart, <https://digitale-schiene-deutschland.de/de/projekte/Hochautomatisiertes-Fahren-DKS>
- [3] Behrens, M; Eckardt, E.; Kümmling, M.; Loef, M.; Otrzonek, P; Schleede, M.; von Schaper, M.-L.; Wanstrath, S.: Auf dem Weg zum Digitalen Knoten Stuttgart: ein Überblick, DER EISENBAHNINGENIEUR 04/2020 ([https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/DKS\\_LST\\_EI-2020-04-14.pdf](https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/DKS_LST_EI-2020-04-14.pdf))
- [4] Neuhäuser, R.; Reinhart, P.; Richter, R.; Vogel, T.: Digitale Leit- und Sicherungstechnik ist kein Selbstzweck, Deine Bahn 3/2021 ([https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/db\\_Digitaler%20Knoten%20Stuttgart\\_2021.pdf](https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/db_Digitaler%20Knoten%20Stuttgart_2021.pdf))
- [5] Digitale Schiene Deutschland, [https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/EL\\_05\\_2024\\_GoA\\_4\\_Hauswald\\_Spiegel.pdf](https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/EL_05_2024_GoA_4_Hauswald_Spiegel.pdf)
- [6] Digitale Schiene Deutschland, <https://www.digitale-schiene-deutschland.de/Digital-Register>
- [7] Achilles, A.; Behrooz, A.; Beyer, M.; Lehmann, F.; Lies, R.; Schleede, M.; Trenchel, D.; Wanstrath, S.: Die Digitalisierung der S-Bahn-Stammstrecke Stuttgart (Teil 1), SIGNAL+DRAHT 9/2023, <https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/Die%20Digitalisierung%20der%20S-Bahn-Stammstrecke%20Stuttgart%20Teil%201%29.pdf>
- [8] Büttner, M.; Celik, M.; Kümmling, M.; Lübs, J.; Seeger, P.; Testa, M.-A.; Vens, M.; Wallberg, S.: Die Digitalisierung der S-Bahn-Stammstrecke Stuttgart (Teil 2), SIGNAL+DRAHT 12/2023, <https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/202312%20Signal-Draht%20Digitalisierung%20der%20S-Bahn-Stammstrecke%20Stuttgart%20Teil%202%29.pdf>
- [9] Leitfaden Planung ATO-Präzisionshaltedatenpunkte, Version 2.0
- [10] Leitfaden Planung ATO-TS, Version 2.0
- [11] Konkretisierung örtlicher Besonderheiten für die PT1-/PT2-Planung Digitaler Knoten Stuttgart, Baustein 1+2, Version 1.0, vom 07.06.2022
- [12] Resurvey guide for ATO planning, Version 1.0
- [13] Kreyenberg, D.; Narayanan, H.; Renner, T.; Nitzschke, H.; Wenzel, B.: Digitales Register – die „Single Source of Truth“ für Infrastrukturdaten für das vollautomatisierte Fahren, SIGNAL+DRAHT 06/2024, [https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/06\\_15\\_Kreyenberg\\_Digitales\\_Register\\_SignalDraht.pdf](https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/06_15_Kreyenberg_Digitales_Register_SignalDraht.pdf)
- [14] ERA UNISIG Subset 125 v1.0.0
- [15] ERA UNISIG Subset 126 v1.0.0
- [16] IEC 62290-1:2014 Railway applications – Urban guided transport management and command/control systems – Part 1: System principles and fundamental concepts Ausgabedatum: 2014-07, Edition: 2.0
- [17] Büker, Th.; Heller, S.; Hennig, E.; Reinhart, P.; Weymann, F.: Zum verkehrlichen Nutzen der Digitalen Schiene Deutschland, DER EISENBAHNINGENIEUR 2/2024 ([https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/El\\_02\\_2024\\_Nutzenstudie.pdf](https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/El_02_2024_Nutzenstudie.pdf))
- [18] 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](https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/2310_EI_Artikel_CTMS_K%C3%BCpper.pdf)).

or that an existing TP be given a different designation. This requirement for an additional TP may arise, for example, from a new stopping place for trains on the platform arising from operational experience. The RU communicates its change to the ATO-Centre system manager in a structured process. The technical implementation then takes place directly in the Basic DR via the steps of new data configuration, tool-supported validation and versioning and on to activation for use in operations.

### 3 Conclusion and outlook

The process of creating ATO infrastructure data and centralised infrastructure data management in the Basic DR is a key component of the planned Germany-wide ATO GoA 2 rollout for DSD. The selected trackside system architecture lays the technical foundations for an efficient digital rollout. The regulatory basis, in particular the guidelines for the ATO configuration process, must be finalised for the rest of the process. This will define the link between the manual and (semi-)automatic configuration steps.

The current (interim) status of manual processing will gradually be expanded by transferring further manual configuration steps to the Basic DR in order to create a fully automated configuration process. The automated process will ensure the faster, consistent, seamless and more reliable creation of ATO configuration data and the updating thereof without interrupting any ongoing operations in the future. ■

#### AUTOREN | AUTHORS

##### Dr. Albrecht Achilles

Head of ATO/TMS  
Nextrail GmbH  
Anschrift / Address: Unter den Linden 21, D-10117 Berlin  
E-Mail: [albrecht.achilles@nextrail.com](mailto:albrecht.achilles@nextrail.com)

##### Harish Narayanan, M.Sc.

Senior Expert Digital Maps / ATO  
Nextrail GmbH  
Anschrift / Address: Schaumainkai 91, D-60596 Frankfurt am Main  
E-Mail: [harish.narayanan@nextrail.com](mailto:harish.narayanan@nextrail.com)

##### Henning Nitzschke, M.Sc.

Product Owner Basic DR / Fachautor Richtlinie ATO-TS Konfiguration  
DB InfraGO AG  
Anschrift / Address: EUREF-Campus 17, D-10829 Berlin  
E-Mail: [henning.nitzschke@deutschebahn.com](mailto:henning.nitzschke@deutschebahn.com)

##### Marco Pistol, Diplom-Ing. (FH)

Product Manager und Lead Systems Engineer ATO-Centre  
DB InfraGO AG  
Anschrift / Address: EUREF-Campus 17, D-10829 Berlin  
E-Mail: [marco.pistol@deutschebahn.com](mailto:marco.pistol@deutschebahn.com)