7+8 | 2026

Juli | August
www.eurailpress.de/sd
118. Jahrgang

SIGNAL+DRAHT

SIGNALLING & DATACOMMUNICATION

13 Train Radio in Transition – Migration from GSM-R to FRMCS

14 **Gesamtsystemtest der dLST: Test- und Referenzumgebung**
Overall system testing of the dLST: test and reference environment

40 **Vergleich der nationalen ETCS-Level 2-Implementierungen**
A comparison of national ETCS Level 2 implementations

72 **Rückwärtsfahren mit ETCS – die Anwendung der Betriebsart Reversing**
Driving in reverse with ETCS – the application of Reversing mode

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

WENN DAS KEIN GRUND ZUM FEIERN IST!

Seit 120 Jahren Ihr zuverlässiges internationales Fachmedium für die Signal-, Sicherungs- und Kommunikationstechnik sowie Betriebsleittechnik.

Kurz gesagt: **SIGNAL+DRAHT** ist eine der wichtigsten Fachzeitschriften für die technische Infrastruktur **hinter** dem Eisenbahnbetrieb.

Feiern Sie mit!

Nutzen Sie die große Jubiläumsausgabe für Ihren Werbeauftritt!

Anzeigenschluss für das Heft 11|26 ist am 05.10.2026

Ihr Kontakt: Silke Härtel | silke.haertel@dvvmedia.com | Tel.: +49/40 237 14 -227

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Passen unsere Regeln zum Stand der Technik?

Do our rules match the state of the art?

Wenn ich von unseren Regeln schreibe, dann meine ich in erster Linie deutsche Regelwerke und Vorschriften. Die einfache Antwort auf diese rhetorische Frage müsste Nein sein, aber ganz so leicht kann man sich die Sache nicht machen.

Mit der Bahnsicherungstechnik wollen wir Bahnbetrieb durchführen; dafür gibt es eine Fahrdienstvorschrift. Viele Paragraphen beschreiben, wie Fahrdienstleiter und Triebfahrzeugführer mit Unzulänglichkeiten und Ausfällen der Technik umgehen müssen. Im Zeitalter von elektronischen Stellwerken, ETCS und – jawohl – Künstlicher Intelligenz sind die Unzulänglichkeiten überwunden bzw. überwindbar, und der Betrieb auf der Rückfallebene kann durch gesicherte Entscheidungshilfen sicherer gemacht werden. Demzufolge muss der Verantwortungsträger für das System Bahn diese Dinge als Anforderung formulieren, in die Lastenhefte schreiben und gleichzeitig die passenden Regeln aufsetzen.

Viele Grundsätze wie z. B. die Unterscheidung von Strecke und Bahnhof oder Zugfahrt und Rangierfahrt entbehren in einem modernen Bahnsystem der technischen Notwendigkeit. Projekte wie ETCS Level 2 ohne ortsfeste Signale mit Streckenführung in eingleisigen Tunnelröhren und Übergängen in herkömmlich ausgerüstete Bestandsstrecken stoßen an Grenzen im Planungsregelwerk. Überhaupt: Technisch wären wir auf dem Stand, Planung und Realisierung bahnsicherungstechnischer Projekte zu modularisieren. Das spart nicht nur Arbeitsaufwand beim Erstellen, sondern auch beim Prüfen. Denn was soll falsch sein, wenn ich generische und entsprechend geprüfte Module automatisiert zu einem Ganzen zusammenfüge? Wir müssen einen Schlussstrich ziehen und die alten Regeln für die Bestandsanlagen belassen. Zu neuen Systemlösungen müssen die dazu passenden Regeln auf der Basis von Wissenschaft und Erfahrung geschaffen werden.

When speaking about our rules, I primarily mean the German rules and regulations. The simple answer to this rhetorical question should be no, but it is not quite that simple.

We want to use railway safety technology to carry out railway operations; there is even an operating rulebook for this. Many paragraphs describe how dispatchers and train drivers have to deal with any inadequacies and technical failures. Any shortcomings have been or can be overcome in the age of electronic interlockings, ETCS and – yes – artificial intelligence, meaning that operating at the fallback level can be made safer by means of secure decision-making aids. Consequently, the responsible entity for the railway system must formulate these items as a requirement, enter them in the specifications and at the same time draw up the appropriate rules.

Many principles, such as the distinction between a line and a station or train travel and shunting runs, lack technical necessity in a modern railway system. Projects such as ETCS Level 2 without fixed light signals with routing in single-track tunnel tubes and transitions to conventionally equipped existing lines are reaching their limits in the planning regulations. In general, we could technically modularise the planning and implementation of railway safety projects. This would not only save effort in the design phase, but also when auditing. After all, what's wrong with automating generic and appropriately tested modules to create a whole? We must draw a line under the old rules for existing installations and leave them behind. New, adequate rules must be created for the new world of the railway with contemporary technical solutions based on scientific know how and practical experience.

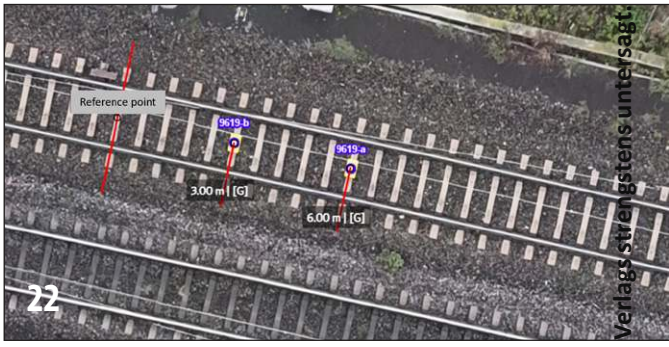
Prof. Dr.-Ing. Jochen Trinckauf, Gründer der CERSS Kompetenzzentrum Bahnsicherungstechnik GmbH
Prof. Dr.-Ing. Jochen Trinckauf, Founder of CERSS Kompetenzzentrum Bahnsicherungstechnik GmbH

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Liebe Leserinnen und Leser,
vor Ihnen liegt eine vielschichtige, ETCS-orientierte Ausgabe von SIGNAL+DRAHT, die ein breites Spektrum aktueller Themen abdeckt. Unsere Experten aus der Leit- und Sicherungstechnik berichten unter anderem, wie sich Sperrzeiten an Bahnübergängen optimieren lassen, welche wertvollen Erfahrungen aus früheren ETCS-Projekten auf dem Korridor „Rhine-Alpine" genutzt werden können und wie die systematische Behandlung von Fehlern in den ETCS-Spezifikationen gelingt.
Ein weiterer Schwerpunkt dieser Ausgabe liegt auf der Notwendigkeit, neue Systemarchitekturen in der LST zu etablieren. EULYNX-Architekturen haben sich hierbei zu einer tragenden Säule entwickelt, um die Modularisierung von Komponenten und die Standardisierung von Schnittstellen zu gestalten. Flankiert wird dieser Ansatz durch die Test- und Referenzumgebungen für Gesamtsystemtests der digitalen LST (dLST). So hat die DB InfraGO eine innovative Systemplattform aufgebaut, mit der dLST-Komponenten verschiedener Hersteller an unterschiedlichen Standorten in einem integrierten Gesamtsystem geprüft werden können.
Wir wünschen Ihnen, liebe Leserinnen und Leser, einen wunderbaren Sommer und eine anregende, erkenntnisreiche Lektüre dieser neuen Ausgabe von SIGNAL+DRAHT.

Dear readers,
you have before you a multifaceted, ETCS-oriented edition of SIGNAL+DRAHT containing a wide spectrum of current topics. Our operations control and signalling experts have reported, amongst other things, on how the closure times on rail level crossings can be optimised, which valuable experience gained from a number of earlier ETCS projects on the "Rhine-Alpine" corridor can be put to use and how the systematic treatment of errors in the ETCS specifications is succeeding.
This edition further focuses on the necessity of establishing new system architectures in operations control and signalling. Here, the EULYNX architectures have developed into a fundamental pillar with regard to the shaping of component modularisation and interface standardisation. This approach is further flanked by test and reference environments for the system integration testing of digital operations control and signalling (dLST). As such, DB InfraGO has established an innovative system platform that can be used to test the dLST components of various manufacturers at different locations within an integrated overall system.
Dear readers, we wish you a wonderful summer and much stimulating, insightful reading with this new edition of SIGNAL+DRAHT.

August Zierl **Reinhold Hundt**
Chefredakteure | *Advising Chief Editors*



03 Jochen Trinckauf
Auf ein Wort: Passen unsere Regeln zum Stand der Technik?
Statement: Do our rules match the state of the art?

06 Jörg Demitz | Amir Almog | Dániel Takács
Neues Simulationssystem für Fahrdienstleiter bei Israel Railways von Entwicklung bis Abnahme
New Train Traffic Simulator for signalmen at Israel Railways – from development to acceptance

Internationaler Fachbeirat

Klaus Altehage, Signon Deutschland GmbH, Berlin | **Bernhard Appel**, Hitach Rail GTS Austria GmbH, Wien | **Stefan Bauer**, TÜV Süd Schweiz AG, Zürich **Robert Baumeister**, Peak Mobility GmbH, Berlin | **René Berger**, Voestalpin Signaling Austria GmbH, Wien | **Dr.-Ing. Thorsten Büker**, quattron GmbH Aachen | **Mahir Celik**, safeTrail GmbH, Saarbrücken | **Radek Dobiáš**, SŽ, Prag **Valentin Doytchev**, Bulgarische Staatsbahnen, NRIC, Sofia | **Oliver Fellner** Mer Mec Deutschland GmbH, München | **André Feltz**, SN CFL, Luxemburg **Andreas Freese**, DB Systel GmbH, Frankfurt/M. | **Udo Fritsch**, Verband Deutsche Verkehrsunternehmen e.V. (VDV), Köln | **Thomas Gehringer**, Eisenbahn Bundesamt, Bonn | **Urs Guggisberg**, Schweizerische Bundesbahnen (SBB), Ber | **Erich Grünberger**, Rail Expert Consult GmbH, Wien | **Aki Härkönen**, Finnish Transport Infrastructure Agency, Helsinki | **Ronald Helder**, ProRail, Utrecht **Steffen Henning**, Scheidt & Bachmann System Technik GmbH, Kiel | **Dennis Herrmann**, Stadler Signalling Germany GmbH, Braunschweig | **Andrea Hinterschweiger**, Westermo Data Communications GmbH, Waghäusel | **Dr. István Hrivnák**, Tran-SYS Ltd., Budapest | **Dirk Isola**, ipw Ingenieurgesellschaft Braunschweig | **Dr.-Ing. Birgit Jaekel**, DZSF, Dresden | **Detlef John**, Frausche Sensor Technology Group GmbH, St. Marienkirchen | **Dr.-Ing. Richard Kahl**, CERP Kompetenzzentrum Bahnsicherungstechnik GmbH, Dresden | **Szymon Kniaź** Kombud Group, Radom | **Johannes Köbler**, Bayerische Kabelwerke AG, Roth | **Branko Korbar**, Kroatische Eisenbahnen (HŽ), Zagreb | **Dr.- Ing. Rolf-Dieter Krächter**, VDB Service GmbH, Berlin | **Dennis Kühnhold**, W&S Technik GmbH Castrop-Rauxel | **Andreas Langer**, ICS Informatik Consulting Systems GmbH Stuttgart | **Marco La Torre**, Pintsch GmbH, Dinslaken | **Dr. Christoph Lemmer** ESE Engineering und Software-Entwicklung GmbH, Braunschweig **Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer**, DLR e.V., Institut für Verkehrssystemtechnik Braunschweig | **Dr.-Ing. Michael Lenders**, Scheidt & Bachmann GmbH Mönchengladbach | **Helmut Liebminger**, Voestalpine Signaling Siershah

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

14 Holger Stritzke | Christoph Müller
Test- und Referenzumgebung zum Gesamtsystemtest der dLST
Test and Reference Environment for the overall system testing of the dLST

22 Nils-Hagen Staudt | Daniel Cramer | Alexander Schuler | Wilko Eisele
Inbetriebnahme von ETCS Level 2 zwischen Oberlahnstein und Assmannshausen
Commissioning of ETCS Level 2 between Oberlahnstein and Assmannshausen

30 Peter Bachmann | Bernhard Diethelm | Guido Schmid
Innovatives System zur Optimierung der Bahnübergangsperrzeiten
An innovative system for optimising level crossing closure times

40 Juan Simón-Muzás | Julia Kalkreiber
Vergleich der nationalen ETCS-Level 2-Implementierungen
A comparison of national ETCS Level 2 implementations

49 Florian Einböck
Generische Object Controller-Plattform: Synergieeffekte über den gesamten Lebenszyklus
A generic Object Controller platform: synergy effects throughout the entire lifecycle

57 Harry Nyström | Sebastian Tapia Olguin
Smart-Balise – eine integrierte Lösung für einen reibungslosen Übergangszeitraum von EBICAB zu ETCS
Smart Balise – an integrated solution for a smooth transition from EBICAB into ETCS

65 Mika Dijkstra | Mark van Hesse | Sander Willer
Strategische Modernisierung von ERTMS der frühen Generation
Strategic upgrades of early generation ERTMS

72 Tim Rothbarth | Richard Kahl
Rückwärtsfahren mit ETCS – die Anwendung der Betriebsart Reversing
Driving in reverse with ETCS – the application of Reversing mode

78 Thorsten Bomke | Torsten Saliwada | Thomas Weiße
Remote Train Operation – Demonstration auf der S-Bahn Baureihe 423 in München
Remote Train Operation: a demonstration on the Class 423 S-Bahn in Munich

87 Markus Alexander Wischy | Oliver Knapp | Max Schubert
Cybersicherheit – Migration regulatorischer und interoperabilitätsbezogener Anforderungen
Cybersecurity – Migration of regulatory and interoperability-related requirements

94 Samet Öztekin
Modernisierung des ETCS-Schlüsselmanagements zur Kommunikation zwischen RBC und Fahrzeug
Modernising ETCS key management for communication between the RBC and Onboard Unit

101 Manuel Hamm | Yadi Han | Julia Jost | Miles Lanzer
Systematische Behandlung von Fehlern in ETCS-Spezifikationen: der Error Correction Process
Systematic handling of errors in ETCS specifications: the Error Correction Process

109 Kurzberichte | Newsflash

114 Impressum | Imprint

Wir wählen in den Fachbeiträgen aufgrund der besseren Lesbarkeit entweder die männliche oder weibliche Form von personenbezogenen Hauptwörtern. Wo möglich verwenden wir geschlechtsneutrale Alternativen. Meinungsbeiträge können auf ausdrücklichen Wunsch der verfassenden Person von dieser Regel ausgenommen sein. Dies impliziert keinesfalls eine Benachteiligung anderer Geschlechtsidentitäten.

For the sake of readability, we use either the masculine or feminine form of personal nouns in the specialist articles. Where possible, we use gender-neutral alternatives. Opinion pieces may be exempt from this rule at the express wish of the author. This in no way implies any discrimination against other gender identities.

Eurailpress Fachartikelarchiv | Archive of specialist articles

Alle Fachartikel sind dauerhaft unter ***www.eurailpress.de/archiv/*** hinterlegt. Achten Sie auf unsere mit dem Archivsymbol gekennzeichneten Themenlinks, die an ausgewählten Beiträgen im Heft zu finden sind und auf weitere relevante Inhalte verweisen.

All specialist articles are filed permanently at ***www.eurailpress.de/archiv/***. Look out for our links to subjects flagged with the archive symbol. This is placed on selected contributions in each issue and draws attention to additional relevant contents.

GmbH, Siershahn | **Sebastian Lüke**, Pilz GmbH & Co. KG, Ostfildern | **Dr.-Ing. Matthias Martin**, Siemens Mobility AG, Wallisellen | **Andreas Medek**, Siemens Mobility Austria GmbH, Wien | **Jens Meinecke**, Hanning & Kahl GmbH & Co KG, Oerlinghausen | **Dr.-Ing. Daria Menzel**, Technische Universität Dresden, Dresden | **Christoph Müller**, Systems Lab 21 GmbH, Potsdam | **Dr. Oleg Nasedkin**, Petersburger Staatl. Universität für Eisenbahnverkehr / Signaltechnik, St. Petersburg | **Michael Osterkamp**, Progress Rail Inspection & Information Systems GmbH, Bad Dürkheim | **PhD Marek Pawlik**, Railway Research Institute, Warschau | **Frank Peters**, Zöllner Signal GmbH, Kiel | **László Pósalaki,** MÁV ZRt., HU-Budapest | **Mariàn Roman**, Eisenbahnen der Slowakischen Republik (ŽSR), Bratislava | **Dr. Guido Rumpel**, Siemens Mobility GmbH, Braunschweig | **Christian Sagmeister**, ÖBB-Infrastruktur AG, Wien | **Mike Schick**, TÜV Rheinland InterTraffic GmbH, Köln | **Prof. Dr.-Ing. habil. Lars Schnieder**, TU Braunschweig, Braunschweig | **Dr. Robert Schönauer**, Assessment Expert Services GmbH, A-Wien | **Kerstin Schreiber**, Funkwerk Systems GmbH, Kölleda | **Max Schubert**, INCYDE industrial cyber defense GmbH, Frankfurt/M. | **Christian Schunke-Mau**, Alstom Transport Deutschland GmbH, Berlin | **Hartwig Schuster**, UNISIG, Brüssel | **Patrick Steinebach**, DB InfraGO AG, Frankfurt/M. | **Miroslav Stojkovic**, Serbische Eisenbahnen (ŽS), Belgrad | **Dr.-Ing. Timo Strobel**, Hitachi Rail GTS Deutschland GmbH, Ditzingen | **Detlev K. Suchanek**, GRT Global Rail Academy and Media GmbH / PMC Media, Hamburg | **Péter Tóth**, Prolan Group, Budakalász | **Prof. Dr.-Ing. Jochen Trinckauf**, Dresden | **Laurenz Trunner**, EBE Railway Systems GmbH, Wien | **Bernhard Wahl**, Obermeyer Infrastruktur GmbH & Co. KG, Köln | **Christian Weiß**, Dr. techn. Josef Zelisko Fabrik für Elektrotechnik und Maschinenbau Gesellschaft m.b.H., Mödling | **Lennart Willms**, ITK Engineering GmbH, Holzkirchen | **Anton Zahner**, HIMA Paul Hildebrandt GmbH, Brühl

Titelbild / *Cover:* ErvoCom Schweiz AG

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Neues Simulationssystem für Fahrdienstleiter bei Israel Railways – von Entwicklung bis Abnahme

New Train Traffic Simulator for signalmen at Israel Railways – from development to acceptance

Jörg Demitz | Amir Almog | Dániel Takács

Alle Eisenbahnen weltweit stehen vor der Herausforderung, neues und erfahrenes Personal für ihre Betriebszentralen auszubilden. Israel Railways (ISR) hat in den letzten 30 Jahren viel in sein Schienennetz investiert und verfügt heute über eine sehr gut ausgebaute Eisenbahninfrastruktur, die täglich von ca. 800 Zügen befahren wird. Die Infrastruktur und der Betrieb sind mit den europäischen Eisenbahnen vergleichbar und stellen sehr hohe Anforderungen an das Betriebspersonal.

ISR haben 2019 ein neues Simulations-Schulungssystem für ihre Stellwerke ausgeschrieben. Der Auftrag zur Implementierung des neuen Simulators wurde an Scheidt & Bachmann System Technik GmbH (S&B) vergeben.
Die Realisierung des neuen Systems war mit mehreren externen Hindernissen verbunden. Der Beginn der Spezifikation und Entwicklung hatte sich durch die COVID-Pandemie in den Jahren 2020/2021 verzögert. Seit Oktober 2023 befindet sich Israel im Kriegszustand, und Vor-Ort-Besuche des technischen Teams in Israel waren nicht mehr möglich. Die Notwendigkeit der Remote-Arbeit (und Online-Besprechungen) verlängerte die Projektdauer und erforderte von allen Beteiligten ein hohes Maß an Professionalität und vor allem Toleranz. Dennoch wurde das neue Ausbildungssystem in enger Zusammenarbeit zwischen ISR und dem Lieferanten implementiert und in Betrieb genommen. Dieser Beitrag beschreibt die Herausforderungen bei der Implementierung eines Simulationssystems über große Entfernungen hinweg mit nur sehr begrenztem Kontakt vor Ort.

1 Zugsteuerung und Ausbildung von Fahrdienstleitern bei Israel Railways

Das gesamte israelische Eisenbahnnetz wird von der Leitstelle in Lod gesteuert. Die sogenannte Massua-Leitstelle ist mit dem Fernsteuerungssystem Command 900 ausgestattet, das von Hitachi Ground Transportation Systems (ehemals Thales) geliefert wurde. Im Zuge der Implementierung der neuen Leitstellentechnologie wurde seinerzeit von Thales ein Simulationssystem geliefert, das sich hauptsächlich auf technische Aspekte konzentriert, wie z. B. die Schulung des technischen Signalpersonals und das Testen neuer Softwareversionen.
Die Ausbildung von Fahrdienstleitern und insbesondere deren Fortbildung konnten auf diesem Simulationssystem nicht durchgeführt werden. Bei der Ausbildung von Fahrdienstleitern sind verschiedene Inhalte relevant. Angefangen bei den grundlegenden Abläufen im Normalbetrieb muss die Simulation eine stabile Grundlage für diese Inhalte bieten. Die Abbildung logischer Stellwerksfunktionen und eine hinsichtlich der Fahrdynamik ausreichend genaue Zugsi-

All railways worldwide are facing the challenge of training new and experienced staff at their control centres. Israel Railways (ISR) have invested significantly in their railway network over the past 30 years and have now established a highly developed railway infrastructure used by approximately 800 trains per day. The infrastructure and operations are very much comparable to European railways with very high demands placed on the operating staff.

ISR tendered a new simulation training system for its signalmen in 2019. The implementation of the new simulator was awarded to Scheidt & Bachmann System Technik GmbH (S&B) (Germany).
The development of the new system was accompanied by several external obstacles. The beginning of the specification and development phases was delayed by the COVID pandemic in 2020/2021. Additionally, Israel has been at war since October 2023 and on-site visits by the technical team to Israel were no longer possible. The need for remote work (and meetings) extended beyond the duration of the project and required a very high degree of professionalism and especially tolerance from all the parties. However, the new training system has been implemented and commissioned in close co-operation between the ISR and the supplier. This article describes the challenges involved in implementing a simulation system remotely with only very limited on-site contact.

1 Train control and signalman training at Israel Railways

The whole Israeli railway network is controlled from the railway control centre in Lod. The so-called Massua Control Centre is equipped with the Command 900 remote control system supplied by Hitachi Ground Transportation Systems (formerly Thales). During the implementation of the new control centre technology, Thales delivered a simulation system that was mainly focussed on technical issues, such as training technical signalling staff and testing new software versions.
The training of signalmen and especially their further education could not be conducted using this simulation system. Different content is relevant during signalman training. The simulation must provide a stable foundation for this content, starting with the basic procedures in regular operations. The mapping of logical interlocking functions and sufficiently accurate train simulations in terms of running dynamics are among the most important pillars of the simulation. Furthermore, the training system should also emulate the real stations that the signalmen

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

mulation gehören zu den wichtigsten Säulen der Simulation. Darüber hinaus soll das Ausbildungssystem die realen Bahnhöfe nachbilden, an denen die Fahrdienstleiter arbeiten. Darauf aufbauend werden komplexere Inhalte wie die Störungssimulation relevant. Die gesamte Funktionalität des Simulators soll von einem Ausbilder mit nur wenigen Mausklicks vorbereitet und gesteuert werden können.
Aufgrund fehlender Ausbildungsmöglichkeiten mussten alle neuen Fahrdienstleiter bei der ISR in theoretischen Präsenzveranstaltungen und durch zeitaufwendige Begleitung bei realen Arbeitsschichten zusammen mit erfahrenen Stellwerkern ausgebildet werden. Eine gezielte Schulung von Störungssituationen sowohl für neue als auch für erfahrene Fahrdienstleiter war nicht möglich.

2 Bedarf für ein neues Schulungssystem

Nach einem langen Prozess der Prüfung verschiedener Schulungsmethoden und des Besuchs bei anderen Eisenbahnen entschied sich die ISR für die Anschaffung eines neuen Simulations-Schulungssystems für ihre Stellwerke. In den Jahren 2018 und 2019 wurde die Ausschreibung für den neuen Stellwerks- und Zugverkehrssimulator (TTS – Train Traffic Simulator) vorbereitet und durchgeführt.
Das neue Simulationssystem sollte folgende Ziele erfüllen:

- Der TTS sollte die Realität der Originalsysteme hinsichtlich Betrieb, Funktionalität und Abläufen so weit wie möglich widerspiegeln.
- Der Ausbilder soll Situationen und Störungen live vor Ort in einer Lerneinheit durchspielen, gemeinsam mit den Lernenden die erforderlichen Maßnahmen durchführen und diese anschließend bewerten.
- Um standardisierte Schulungen und Prüfungen zu ermöglichen, soll der TTS mit verschiedenen Funktionen zur Vorbereitung und Auswertung von Simulationssitzungen ausgestattet sein
- Langfristig soll der TTS in der Lage sein, das gesamte ISR-Eisenbahnnetz mit allen ortsspezifischen Besonderheiten zu simulieren

Um den TT S von Anfang an als leistungsstarkes Schulungsinstrument für alle Stellwerke einzusetzen, wurden mehrere spezifische Bereiche für die Simulation festgelegt. Diese Auswahl umfasst das zentrale Gebiet von Tel Aviv mit sehr dichtem Schienenverkehr sowie komplexe Bahnhofsbereiche im Norden und Süden des ISR-Netzes.

3 Implementierung des Simulators TTS

3.1 BEST-Simulationssystem als Grundlage

Der Zugverkehrssimulator (TTS) basiert auf der Betriebs- und Stellwerkssimulation BEST, die seit mehr als 30 Jahren von Scheidt & Bachmann System Technik (Kiel) gemeinsam mit Tran-SYS Kft. (Budapest) realisiert wird. Auf Basis der BEST-Betriebs- und Stellwerkssimulation wurden inzwischen mehr als 20 Simulationssysteme entwickelt. Sie werden von zahlreichen europäischen Eisenbahn- und Stadtbahnbetreibern als Standardsystem für die Signaltechnikausbildung eingesetzt. In mehr als 300 Ausbildungszentren in ganz Europa werden jährlich über 20 000 angehende und erfahrene Fahrdienstleiter auf BEST-Systemen für ihre verantwortungsvollen Aufgaben ausgebildet und qualifiziert.
BEST bildet alle relevanten Details der Originalsysteme nach, um in der Ausbildung das gleiche „Look & Feel" zu erreichen wie beim Betrieb am Originalsystem. Zu diesem Zweck werden systemspezifische Funktionen der jeweiligen Stellwerke und Steuerungssysteme detailliert modelliert. Der Simulator kann eine realistische Topogra-

are working at. More complex content such as failure simulation thus becomes relevant when building on that. The whole simulator functionality should be able to be prepared and controlled by a trainer by means of just a few mouse clicks.
The deficient training possibilities meant that all the new signalmen at the ISR had to be trained in theoretical classroom sessions and during the time-consuming monitoring of real shifts worked with experienced signalmen. The dedicated training of failure situations for both new and experienced signalmen was not possible.

2 The need for a new training system

After a long process of reviewing different training methods and visiting other railways, the ISR decided to purchase a new simulation training system for their signalmen. The tender for the new Train Traffic Simulator (TTS) was prepared and conducted in 2018 and 2019.
The new simulation system was supposed to fulfil the following goals:

- the TTS was to reflect the reality of the original systems as far as possible in terms of their operations, functionality and processes.
- the trainer should go through the situations and faults live on site in a learning unit, undertake the necessary actions with the learners and then evaluate them.
- the TTS should be equipped with several functions for the preparation and evaluation of simulation sessions so as to enable standardised training sessions and exams,
- the TTS should be able to simulate the whole ISR railway network with all the site-specific specialities in the long term.

Several specific simulation areas were determined so that the TTS could be used as a powerful training tool for all the signalmen from the beginning. This selection covers the central Tel Aviv area with very dense rail traffic, as well as complex station areas in the north and south of the ISR network.

3 Implementing the TTS

3.1 The BEST simulation training system as the basis

The TTS is based on the BEST operations and interlocking simulation, which has been realised by Scheidt & Bachmann System Technik (Kiel) in collaboration with Tran-SYS Kft. (Budapest) for more than 30 years. More than 20 simulation systems have now been developed based on the BEST operations and interlocking simulation. They are used by numerous European railways and light rail operators as a standard system for signalling training. More than 20,000 prospective and experienced train dispatchers are trained and qualified for their responsible tasks on BEST systems at more than 300 training centres across Europe every year.
BEST reproduces all the relevant details of the original systems in order to achieve the same "look & feel" in training as when operating on the original system. They system-specific functions of the respective interlocking and control systems are modelled in detail for this purpose. The simulator can either emulate a realistic topography or simulate generic lines and stations. The train operation is based on a timetable and the trains run with realistic driving dynamics based on the tractive forces of the traction units, train masses and lengths as well as line and route speeds.
The TTS is based on the BEST simulation for Deutsche Bahn AG (DB AG) which began to be developed at the end of the 1990s.

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

fie nachbilden, oder es können generische Strecken und Bahnhöfe simuliert werden. Der Zugbetrieb basiert auf einem Fahrplan, die Züge fahren mit realistischer Fahrdynamik, die auf den Zugkräften der Triebfahrzeuge, den Zugmassen und -längen sowie den Strecken- und Fahrweggeschwindigkeiten basiert.
Das TTS basiert auf der BEST-Simulation für die Deutsche Bahn AG (DB AG), deren Entwicklung Ende der 1990er Jahre begann. Da die aktuellen Komplexitäten im deutschen Eisenbahnnetz mit der damals verwendeten Systemarchitektur nicht mehr modelliert werden konnten, war eine umfassende Neugestaltung der Simulationssoftware erforderlich [1]. Der TTS-Simulator konnte auf dieser neu gestalteten Simulationssoftware aufbauen, da sie in der Lage ist, verschiedene Stellwerkstechnologien unter Verwendung desselben Simulations-Softwarekerns zu simulieren.
Zudem wurde die bei ISR eingesetzte Stellwerks- und Steuerungstechnik von Hitachi Ground Transportation Systems (ehemals Thales) geliefert und ist mit den bei anderen europäischen Eisenbahnen verwendeten Systemen sehr gut vergleichbar. Dies ermöglichte es, die deutsche Simulation als Grundlage für das neue Schulungssystem bei ISR zu nutzen.

3.2 Spezifikation und Softwarerealisierung

Der Beginn eines Softwareentwicklungsprojekts ist die Spezifikationsphase. In dieser Phase müssen alle Funktionen des Simulationssystems beschrieben werden, um sie in der Software umzusetzen. Da ein Simulationssystem für Fahrdienstleiter in den meisten Fällen ein völlig neues Schulungsmedium darstellt, ist diese Projektphase für ein Eisenbahnunternehmen in der Regel eine sehr große Herausforderung. ISR verfügte bereits über langjährige Erfahrung mit Fahrsimulatoren und hatte daher ein sehr gutes Verständnis dafür, wie ein Simulationssystem im täglichen Schulungsbetrieb eingesetzt werden sollte.
Die Ausbildung von Fahrdienstleitern ist jedoch einzigartig, und ein Simulationssystem bietet neue Ausbildungsmethoden, die von den Ausbildern vor oder während der Spezifikation eines neuen Systems verstanden werden müssen.
Leider fiel der Projektstart in die COVID-Pandemie 2020/2021. Die weltweiten Einschränkungen bei persönlichen Treffen und Reisen wirkten sich erheblich auf dieses Projekt aus. Im ersten Jahr konnten zur Vorbereitung der Spezifikation nur Online-Meetings abgehalten werden. Dies war für beide Seiten eine ungewohnte Herausforderung, da bei „normalen" Projekten alle Diskussionen und Vereinbarungen üblicherweise persönlich stattfinden. ISR und das Lieferantenteam stellten sich dieser Herausforderung jedoch und führten alle notwendigen Besprechungen zweimal pro Woche online durch. Darüber hinaus mussten aufgrund verschärfter Cybersicherheitsvorschriften eine vollständige Überprüfung und ein Audit der bei S&B geltenden Sicherheitsvorschriften durchgeführt werden, bevor die Dokumentation des Eisenbahnnetzes und der Signalsysteme von ISR an S&B übermittelt werden konnte.
Nach etwa einem Jahr gemeinsamer Projektarbeit ausschließlich über Online-Sitzungen war das erste Projektmeeting in Israel möglich. Die Projektmitglieder, die sich bisher nur „vom Bildschirm" kannten, trafen sich zum ersten Mal persönlich. Der größte Vorteil bestand darin, dass während dieses Treffens und der folgenden Treffen die notwendige Überprüfung der realen Stellwerkssysteme möglich war, um den Spezifikationsprozess fortzusetzen (Bild 1).
Die ersten Softwareversionen des TTS konnten implementiert werden, nachdem die ersten Kapitel der Spezifikation fertiggestellt worden waren. Da das neue Simulationssystem von ISR auf dem bestehenden Simulator für die DB basierte, konnte dieser Prozess sehr schnell beginnen, und während der folgenden Projektbesprechun-

The fact that the current complexities in the German railways could no longer be modelled with the system structure used at the time meant that a comprehensive redesign of the simulation software was required [1]. The TTS was able to be based on this re-designed simulation software, as it is able to simulate different interlocking technologies using the same simulation software core.
Furthermore, the interlocking and control technology used at the ISR has been delivered by Hitachi Ground Transportation Systems (formerly Thales) and is very much comparable to the systems in use on other European railways. This allowed the use of the German simulation as the basis for the new training system at the ISR.

3.2 Specification and software implementation

Any software development project begins with the specification phase. All the functions of the simulation system have to be described during this phase so they can be implemented in the software. Given that a simulation system for signalmen is a completely new training media in most cases, this project phase is usually a very large challenge for a railway company. The ISR had already had long-term experience with driving simulators and therefore had a very good understanding of how a simulation system should be used in day-to-day training sessions.
However, signalling training is unique and a simulation system offers new training methodologies that need to be understood by the trainers before or during the specification of a new system.
Unfortunately, the project began during the COVID pandemic in 2020/2021. The worldwide restrictions in personal meetings and travel affected this project quite significantly. During the first year, it was only possible to hold on-line meetings to prepare the specifications. This was an unknown challenge on both sides as all discussions and agreements are usually carried out face-to-face during "normal" projects. However, the ISR and the supplier's team faced this challenge and carried out all the necessary discussions on-line twice a week. Furthermore, the stricter cybersecurity regulations meant that a complete review and audit of S&B's security regulations had to be performed before the documentation of the ISR's railway network and signalling systems could be sent to the company. The first project meeting became possible in Israel after about one year of joint project work performed online. The project members who only knew each other "from the screen" met for the first time in person. The biggest advantage was that it was possible to continue the necessary review of the real signalling systems with the specification process during this meeting and the following ones (fig. 1).
The first software versions of the TTS were able to be implemented once the first chapters of the specification had been finalised. Since the ISR's new simulation system was based on the existing DB simulator, this process was able to start very quickly and the first software versions were delivered for testing by the ISR during the upcoming project meetings. This process allowed the ISR to familiarise itself with the simulation system before the official delivery of the new simulator.

3.3 Remote delivery of the simulation system to Israel

The delivery of the simulation system was originally planned for the beginning of 2024, but Israel had been in a war situation since October 2023 due to the escalated Gaza conflict.

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Bild 1: Besichtigung der ISR-Betriebszentrale zur Spezifikationserstellung
Fig. 1: A site visit at the ISR's control centre for specification purposes

Quelle / *Source*: Israel Railways

gen konnten erste Softwareversionen zur Prüfung durch ISR bereitgestellt werden. Dieser Prozess ermöglichte es ISR, sich bereits vor der offiziellen Auslieferung des neuen Simulators mit dem Simulationssystem vertraut zu machen.

3.3 Remote-Lieferung des Simulationssystems nach Israel

Die Lieferung des Simulationssystems war ursprünglich für Anfang 2024 geplant. Doch seit Oktober 2023 befand sich Israel aufgrund des eskalierten Gaza-Konflikts im Kriegszustand. Dies machte erneut alle Möglichkeiten für Besuche vor Ort in Israel zunichte. Da das Team des Lieferanten Israel nicht besuchen konnte, führte das ISR-Team den Factory Acceptance Test (FAT) in Budapest durch (Bild 2)

Bei allen bisherigen Simulationsprojekten hat S&B die erforderliche Hard- und Software in den eigenen Räumlichkeiten installiert, um dem Kunden ein voll funktionsfähiges und vorab getestetes Simulationssystem zu liefern. In dieser Situation war eine Lieferung vorinstallierter PC aber nicht möglich, weshalb erstmals eine vollständig ferngesteuerte Installation vorbereitet und durchgeführt wurde.

Die erforderliche PC-Hardware war von einem lokalen israelischen Partner beschafft und an ISR geliefert worden. In den Räumlichkeiten von S&B in Kiel wurden PC in gleicher Ausrüstung installiert und wurde die Simulationssoftware auf der Hardware getestet. Für die Lieferung wurden Festplatten-Images aller Simulations-PC erstellt und über eine sichere Datenübertragung nach Israel gesendet. Diese Images enthielten ca. 4 GB Daten pro PC, und bisher waren noch nie so große Datenmengen über die bestehende IT-Infrastruktur von S&B ausgetauscht worden.

Die Images wurden vor Ort in Israel gemeinsam mit dem lokalen Partner installiert, und nach zwei Tagen war die komplette Simulation betriebsbereit. Dies war ein Durchbruch für das gesamte Team, und nach ca. vier Jahren intensiver Arbeit mit zahlreichen

Once again, this stopped all the possibilities of on-site visits in Israel. Given that the supplier's team could not visit Israel, the ISR team performed the Factory Acceptance Test (FAT) in Budapest (fig. 2)

In all its simulation projects up to that time, S&B had installed the required hardware and software at its own premises in order to deliver a fully working and pre-tested simulation system to the customer. This time, it was not possible to undertake a shipment of pre-installed PCs and a fully remote installation was therefore prepared and conducted for the first time. The necessary PC hardware had been purchased by a local Israeli partner of S&B and delivered to the ISR. The simulation software was installed on similar PCs at S&B's premises in Kiel and was tested on the hardware. Hard disk images of all the simulation PCs were prepared and sent to Israel via a secure file transfer for the delivery. These images contained approximately 4 GB of data for each PC and no such large data exchange had ever been attempted using S&B's existing IT infrastructure at that time.

The images were installed on site in Israel in collaboration with S&B's local partner and the complete simulation was up and running after two days. This was a breakthrough for the whole team and the ISR could then present the new signalmen's training system within its organisation after approximately four years of intensive work with numerous obstacles from the outside world.

Software updates were then able to be installed via a typical VPN remote access and the final acceptance of the simulator was able to be prepared.

3.4 Remote acceptance of the simulation system

The final acceptance of a software system is usually carried out on-site with participants from both the client and the supplier.

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

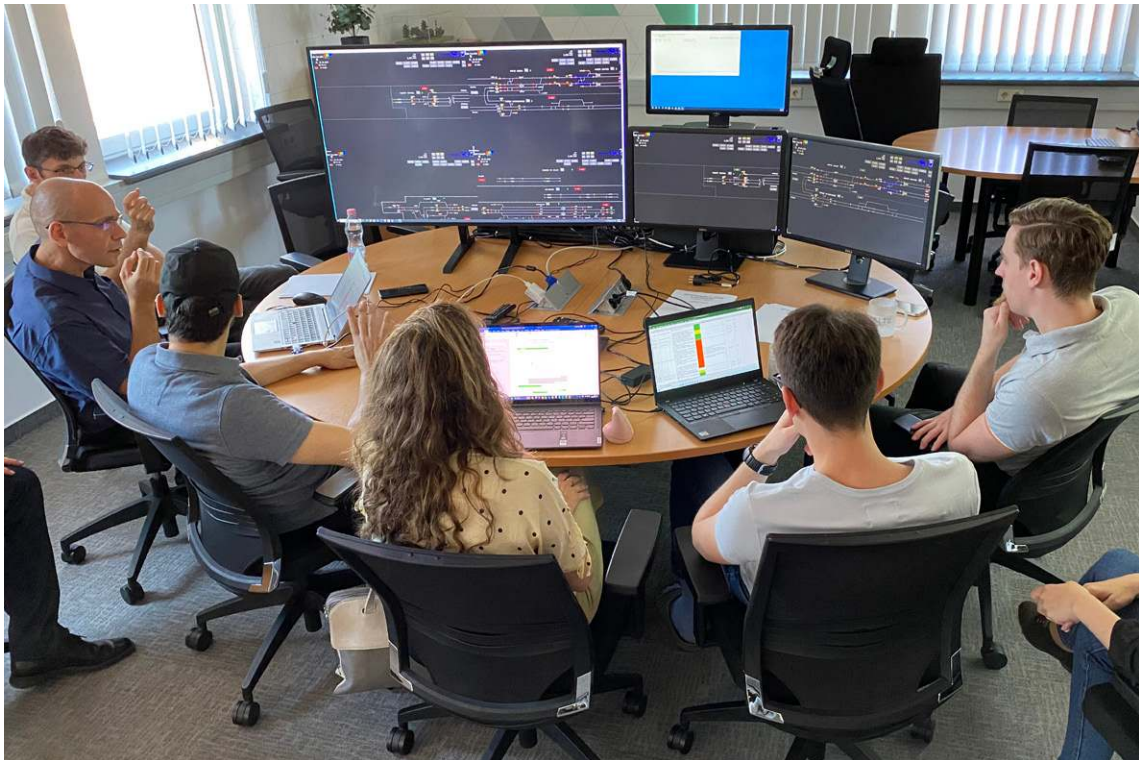


Bild 2: Abnahmetest mit dem Lieferanten und der ISR in Budapest
Fig. 2: The acceptance test with the supplier and the ISR in Budapest Quelle / *Source*: Scheidt & Bachmann System Technik

Hindernissen von außen konnte ISR das neue Ausbildungssystem für Fahrdienstleiter innerhalb der Organisation vorstellen.
Von da an konnten Software-Updates über einen typischen VPN-Fernzugriff installiert und konnte die Endabnahme des Simulators vorbereitet werden.

3.4 Fernabnahme des Simulationssystems

Die Endabnahme eines Softwaresystems wird in der Regel vor Ort unter Beteiligung von Vertretern des Kunden und des Lieferanten durchgeführt. Das System muss anhand der Spezifikation (und der Erwartungen des Kunden) getestet und festgestellte Softwarefehler müssen behoben werden.

The system has to be tested against the specifications (and expectations of the customer) and any detected software defects have to be corrected.
Due to the situation where the supplier's team was still unable to visit Israel, the acceptance phase had to be carried out remotely. The whole team arranged acceptance sessions via video conference, each of them lasting three days. The tests of the delivered software were able to be performed jointly via remote access and any problems were discussed by video (fig. 3, fig. 4).
Such remote acceptance required very strong discipline on both sides. Furthermore, signalling training using a simulation system was completely new for the ISR and the trainers

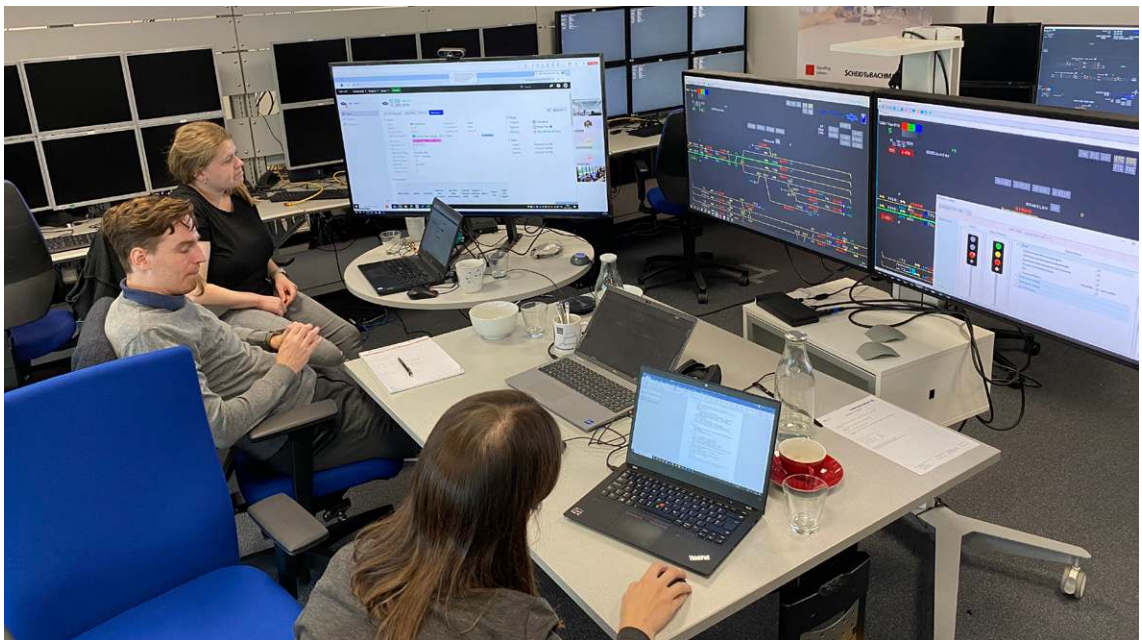


Bild 3: Abnahmetest mit Fernverbindung zum Simulator der ISR aus Deutschland
Fig. 3: The acceptance test with a remote connection to the ISR's simulator from Germany Quelle / *Source*: Scheidt & Bachmann System Technik

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Da das Team des Lieferanten Israel weiterhin nicht besuchen konnte, musste auch die Abnahmephase aus der Ferne durchgeführt werden. Das gesamte Team organisierte Abnahmesitzungen, die jeweils drei Tage dauerten und per Videokonferenz stattfanden. Die Tests der gelieferten Software konnten gemeinsam per Fernzugriff durchgeführt und alle Probleme ausführlich per Video besprochen werden (Bilder 3 und 4). Eine solche Fernabnahme erforderte auf beiden Seiten ein hohes Maß an Disziplin. Darüber hinaus war die Ausbildung von Fahrdienstleitern mit einem Simulationssystem für ISR völlig neu, und die Ausbilder mussten in der letzten Projektphase neue Erfahrungen sammeln und neue Schulungskonzepte erarbeiten. Dank des sehr kooperativen Projektteams auf beiden Seiten konnte auch diese Herausforderung gemeistert werden. Der Abnahmeprozess des Systems dauerte aufgrund der eingeschränkten Möglichkeiten länger als ursprünglich geplant, z. B. konnte das Lieferantenteam das Verhalten des realen Systems nicht sofort überprüfen. Dies musste im Nachhinein überprüft und besprochen werden.

4 Erfahrungen und Ausblick

Die Fernabnahme des Simulationssystems war schließlich erfolgreich, und ISR erhielt ein gut funktionierendes, völlig neues Ausbildungssystem. Die Ausbildung der ersten Fahrdienstleiter fand im Frühjahr 2024 statt, und seit Ende 2024 bildet das System die Grundlage für die Aus- und Weiterbildung der ISR. Selbst sehr erfahrene Fahrdienstleiter haben das neue Ausbildungssystem als sehr gute

had to gain new experience and work out new training concepts during the last phase of the project. This challenge was also mastered thanks to the very co-operative nature of the project teams on both sides. The acceptance process of the system took longer than originally planned due to the limited possibilities, e.g. the supplier team could not immediately check the behaviour of the real system. This had to be checked and discussed afterwards.

4 Experience and outlook

The remote acceptance of the simulation system was ultimately successful and the ISR received a well-working, completely new training system. The training of the first signalmen was conducted in spring 2024 and the system has formed the basis of the ISR's initial and further training since the end of 2024. Even highly experienced signalmen have accepted the new training system as a good aid in understanding and practicing irregular situations.

The story of the ISR's Train Traffic Simulator has just begun. The very dense railway network in the central Tel Aviv area will be equipped with an ETCS Level 2 signalling system in the upcoming years. S&B has already realised simulation systems for ETCS Level 2 on important routes in Austria, Switzerland, Sweden and Germany [2]. The ISR's new simulation system will be also updated with a new signalling system in the near future. Further-

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Bild 4: Fernabnahmeprüfung im Simulatorraum bei ISR
Fig. 4: The remote acceptance test in the simulator room at the ISR Quelle / *Source*: Scheidt & Bachmann System Technik

Hilfe zum Verständnis und zur Übung von Ausnahmesituationen angenommen.

Die Geschichte des Stellwerks- und Betriebssimulators bei ISR hat gerade erst begonnen. Das sehr dichte Schienennetz im Zentrum von Tel Aviv wird in den kommenden Jahren mit dem Signalsystem ETCS Level 2 ausgestattet. S&B hat bereits Simulationssysteme für ETCS Level 2 auf wichtigen Strecken in Österreich, der Schweiz, Schweden und Deutschland realisiert [2]. Das neue Simulationssystem der ISR wird in naher Zukunft ebenfalls mit dem neuen Signalsystem aktualisiert. Darüber hinaus ist geplant, das Simulationssystem auch für die Ausbildung von Disponenten zu erweitern.

Neben der Professionalität und dem detailliert beschriebenen, geordneten Ablauf ist es wichtig, die entstandene Zusammenarbeit und insbesondere das Vertrauen zwischen den Parteien hervorzuheben. Diese Arbeitsweise mittels Online-Meetings schafft nicht die übliche Nähe. Jede Meinungsverschiedenheit (und die gab es sicherlich) kann sich ausweiten, stören und verletzen. Dank des hervorragenden Teams wurden selbst Streitigkeiten und Meinungsverschiedenheiten überwunden und endeten mit einem Lächeln. ■

more, there are plans to extend the simulation system to also include dispatcher training.

In addition to the professionalism and orderly process described here in detail, it is also important to note the working relationship that has been created and especially the trust between the parties. This working method with online meetings does not create the usual closeness. Any disagreements (and certainly there were some) can expand, interfere and hurt the process. Thanks to the excellent team, any disputes and disagreements were overcome and always ended with a smile. ■

LITERATUR | LITERATURE

[1] Herbst, T.; Demitz, J.; Funk, D.; Dobrosi, A.: PRESIM-Simulation bei der DB AG: Darstellung des gesamten Streckensicherungsspektrums in einem Simulator, SIGNAL+DRAHT 6/2021

[2] Demitz, J.; Bähr, H.; Dobrosi, A.: Erneuerung der ETCS-Simulation im PRESIM-Simulationssystem der DB AG, Anpassung an aktuelle und zukünftige Herausforderungen, SIGNAL+DRAHT 7-8/2025

AUTOREN | AUTHORS

Jörg Demitz
Head of Simulation Systems
Scheidt & Bachmann System Technik GmbH
Anschrift / *Address*: Otto-Flath-Straße 4, D-24109 Melsdorf
E-Mail: demitz.joerg@scheidt-bachmann-st.de

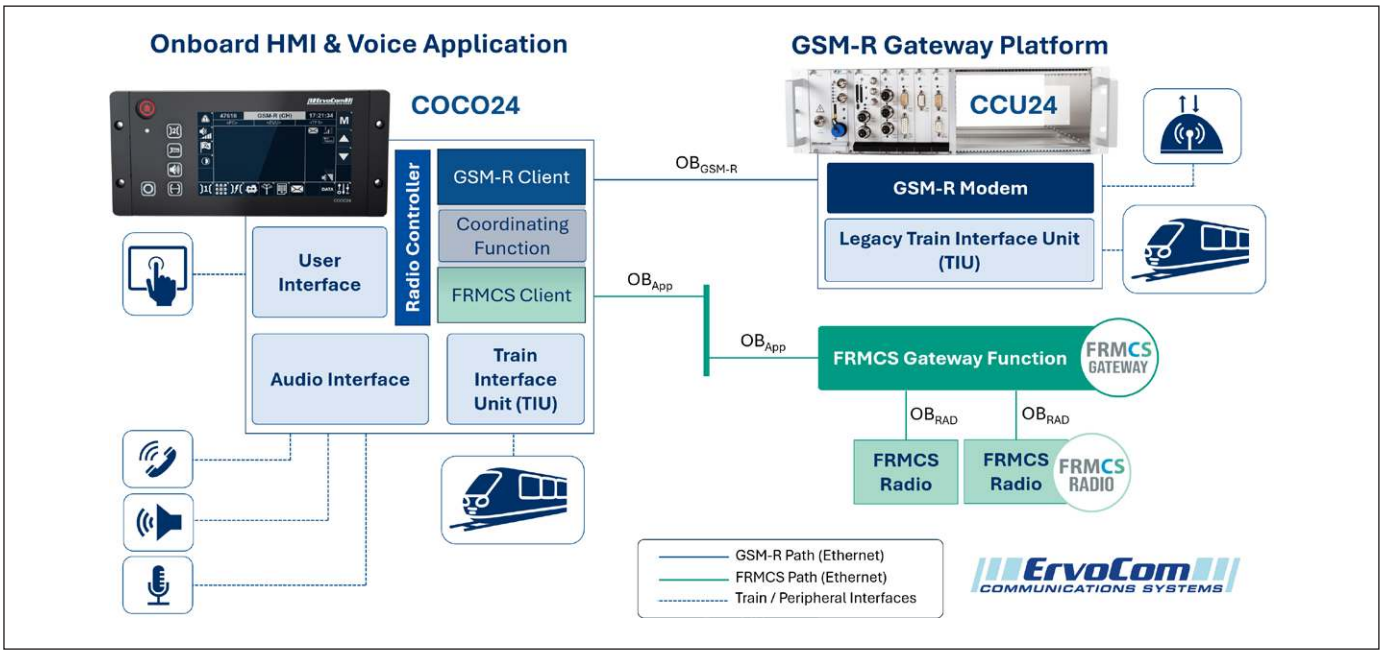
Amir Almog
Senior Project Manager
Israel Railways
Anschrift / *Address*: P.O. Box 33263, I-3133201 Haifa
E-Mail: amira@rail.co.il

Dániel Takács
Lead designer and project leader
TRAN-SYS Kft.
Anschrift / *Address*: Lajos utca 48-66. B ep. 5 em, HU-1036 Budapest
E-Mail: takacs@transys.hu

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Train radio in transition – Migration from GSM-R to FRMCS

Operators using GSM-R for train radio are facing the challenge of switching to FRMCS. The TRS-G2 has been consistently developed according to FRMCS architecture and enables smooth migration.



FRMCS/GSM-R Dual-Mode Cab Radio based on the FRMCS architecture

With FRMCS, the on-bord architecture undergoes a fundamental change. While GSM-R integrates communication and application functions into a single central unit, the FRMCS architecture consistently separates these functions. The FRMCS Gateway provides communication services to the applications (ETCS, ATO, Voice) via standardized APIs and handles the connection to the FRMCS radio modules.

For voice communication, the previous central unit is replaced by the FRMCS Gateway, FRMCS Radio, and Voice Application Subsystem (VAS). The standardized APIs (OBAPP, OBRAD) enable vendor-independent compatibility. This will allow operators to adopt a multi-vendor strategy in the future, increase flexibility in system procurement or expansion, and contribute to a sustainable reduction in lifecycle costs.
This architecture represents a paradigm shift. The logic of the train radio system (VAS) is integrated directly into the control panel. Tasks such as audio routing, TCMS connectivity, and call management—which were previously handled by the central unit—are now consolidated within the HMI unit.
ErvoCom consistently implements the FRMCS architecture via Ethernet. The VAS is implemented in the COCO24 HMI (Human-Machine Interface) unit, including the software application and all interfaces. The connection to the existing GSM-R network is established via the CCU24 central unit and might be removed at the end of the migration phase.
Retrofitting made easy: A future FRMCS gateway and FRMCS radio can be integrated through a simple ethernet network connection. This reduces integration effort, minimizes technical risks, and significantly lowers migration costs.
The COCO24 is an HMI and VAS designed specifically for reliability and low lifecycle costs. Its modern touchscreen technology with tempered glass surface replaces mechanical controls that are prone to wear and tear. Integrated microphones with DSP-based signal processing further minimize the need for external audio accessories and reduce spare parts and operating costs.
The Central Control Unit CCU24 serves as a GSM-R gateway with integrated radio-module. Optional interface cards provide connectivity to a wide range of vehicle interfaces, such as GPIO, UIC 3/4, or MVB. This allows the system to adapt optimally to different vehicle platforms and individual requirements.
The train radio system is ideally suited for new vehicles that require GSM-R today and need to be migrated to FRMCS in the future. The same applies to retrofitting existing vehicles that need to support their legacy interfaces. The TRS-G2 will make its debut at InnoTrans 2026 (Hall 4.1, Booth 665), giving visitors the opportunity to experience the system firsthand.

ErvoCom is a Swiss family-owned company, having business worldwide, with over 25 years of experience in the development of train radio and on-board audio solutions.

Contact:
+41 55 460 28 00 | www.ervocom.ch | sales@ervocom.ch

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Test- und Referenzumgebung zum Gesamtsystemtest der dLST

Test and Reference Environment for the overall system testing of the dLST

Holger Stritzke | Christoph Müller

Im Rahmen der Einführung von digitaler Leit- und Sicherungstechnik (dLST) werden seitens der Hersteller heutzutage modulare, digitale Teilsysteme entwickelt, die über standardisierte Schnittstellen verfügen. Dies führt zusammen mit der Modularisierung zu einer stärkeren Standardisierung. Allerdings müssen die verschiedenen Teilsysteme in ein Gesamtsystem integriert werden. Erst durch eine Ende-zu-Ende Systemintegration ergibt sich ein dLST-Gesamtsystem, das die Funktionalitäten gemäß der Lastenhefte abbilden kann. Da die Gesamtsystemintegration sowohl technische als auch prozessuale Herausforderungen und Unwägbarkeiten mit sich bringt, sollten vor einem aufwendigen Realisierungsprojekt im Feld ausgiebige Tests in einer Laborumgebung stattfinden. Die DB InfraGO hat daher eine Test- und Referenzumgebung für die dLST ausgestaltet, die über vernetzte Labore an verschiedenen Standorten Gesamtsystemtests ermöglicht.

1 Zentrale Herausforderungen beim Aufbau eines dLST-Gesamtsystems

Für den Aufbau eines dLST-Gesamtsystems (Bild 1) sind folgende zentrale Herausforderungen zu lösen:

Manufacturers are currently developing modular digital subsystems equipped with standardised interfaces as part of the introduction of digital command, control and signalling technology (dLST). This leads to increased standardisation when combined with modularisation. However, the various subsystems must be integrated into an overall system (fig. 1). Only end to end system integration results in a dLST overall system that can map the functionalities in accordance with the requirements specifications. Since overall system integration entails both technical and procedural challenges and uncertainties, extensive tests should be carried out in a laboratory environment before undertaking a complex realisation project in the field. DB InfraGO has therefore designed a test and reference environment for dLST that enables overall system tests via networked laboratories at different locations.

1 The central challenges when establishing a dLST overall system

The following central challenges must be addressed when establishing a dLST overall system (fig. 1):

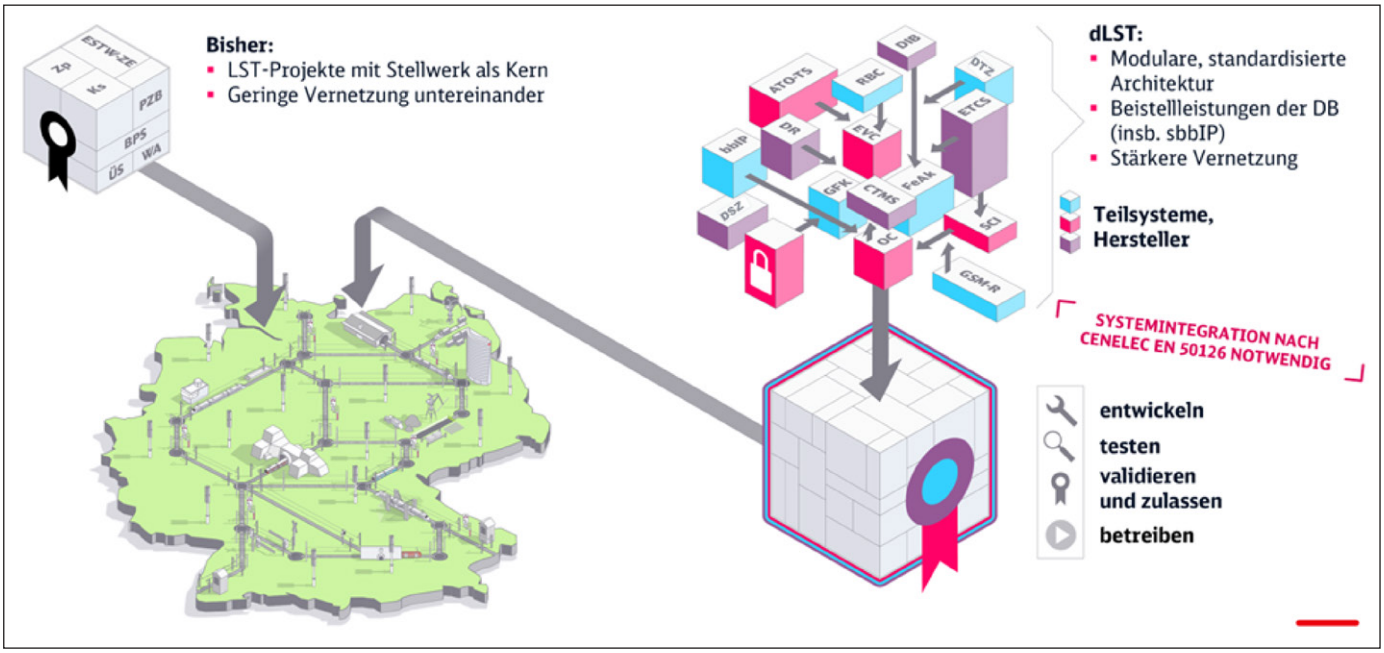


Bild 1: Modulare Teilsysteme in der dLST
Fig. 1: The modular subsystems in the dLST

Quelle aller Abbildungen / *Source of all images*: DB InfraGO AG

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

1. Die DB InfraGO vereint die Rollen als Infrastrukturbetreiber und Teilsystemlieferant, insbesondere durch das Übertragungssystem (ÜS) ausgeführt als sicheres bahnbetriebliches IP-Netz (sbbIP).
2. Das ÜS ist zentral für die Gesamtsystemintegration und beeinflusst wesentliche Systemeigenschaften (z. B. Reaktionszeiten). Betrieb und Weiterentwicklung erfordern spezialisierte Infrastruktur und Expertise.
3. Trotz Qualitätssicherung treten Defekte häufig erst im Gesamtsystem und unter realistischen Betriebsszenarien auf, insbesondere in Großprojekten. Fehlerkosten steigen mit später Entdeckung.
4. Hohe Systemkomplexität und Weiterentwicklung erfordern frühzeitige, leistungsfähige Testkonzepte sowie entsprechende Testumgebungen. Verspätete Tests führen zu Effizienzverlusten und Projektrisiken.
5. Abweichungen vom Standard sind zu vermeiden, sie erhöhen Kosten und Komplexität. Standardisierung und Interoperabilität sind entscheidend für effiziente und wiederholbare Integration.

Erste Erfahrungen mit der dLST im Projekt DKS (Digitaler Knoten Stuttgart) zeigen, dass bei einer Systemintegration im Projekt erhebliche, nicht vorhersehbare Schwierigkeiten auftreten, die zu deutlichen Projektverzögerungen führen. Da digitale Systeme während ihres Lebenszyklus auch regelmäßige Updates und Systemanpassungen benötigen, stellen die daraus resultierenden Prozesse von Systemtests und evtl. notwendiger Zulassungsänderungen eine große Hürde für in Betrieb befindliche Stellwerke dar. Daher ist es erforderlich, die Gesamtsystemintegration in einer Test- und Referenzumgebung durchzuführen, die vom Bahnbetrieb entkoppelt ist und somit umfangreiche Testaktivitäten sowie Anpassungen an den digitalen Teilsystemen ermöglicht. Mit einer Test- und Referenzumgebung ist es möglich, neben der initialen Systemintegration auch Updates und Systemanpassungen vor der Implementierung im Feld während des Lebenszyklus der Teilsysteme zu prüfen und freizugeben.

2 Überblick Test- und Referenzumgebung (TRU)

Die TRU ist zunächst als technische Einrichtung mit Nutzungsmöglichkeiten in verschiedenen Teilprozessen zu verstehen. Im Fokus der ersten Ausbaustufe liegen dabei die Gesamtsystemtests und die Gesamtsystemintegration der dLST.

Mit Gesamtsystemintegration ist der Prozess gemeint, der sich nach der Produktphase und nach der Teilsystemqualifikation (also auch nach der Zulassungsprüfung) der Teilsysteme anschließt und diese zum System dLST gemäß Systemintegrationsplan integriert. Positives Prozessergebnis ist der Systemqualifikationsnachweis (SQN).

Die mögliche geografische Architektur für eine Test- und Referenzumgebung wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Hierzu zählen die Anzahl der digitalen Teilsysteme, die Anzahl der verschiedenen Herstellerlösungen, die beteiligten Stakeholder (Hersteller, Forschungseinrichtungen, Standorte der Deutschen Bahn AG (DB) sowie die Einbindung der DB-eigenen Beistellungen, z. B. GSM-R). Die favorisierte Architektur, welche diese Anforderungen berücksichtigt, ist als vernetzte Test- und Referenzumgebung in Bild 2 dargestellt. Da die digitalen Teilsysteme des Gesamtsystems dLST mit einem auf IP-Technologie basierenden Kommunikationsnetz realisiert werden, ist auch eine Vernetzung zwischen Laboren an verschiedenen Standorten möglich. Wechselwirkungen mit Latenz- bzw. Systemlaufzeitmessungen müssen dabei beachtet werden.

1. DB InfraGO combines the roles of the infrastructure manager and the subsystem supplier, in particular through the transmission system implemented as a safe railway operating IP network (sbbIP).
2. The transmission system is central to the overall system integration and influences the essential system properties, such as reaction times. Operations and further development require specialised infrastructure and expertise.
3. Despite quality assurance, defects frequently only occur in the overall system and under realistic operating scenarios, particularly in large scale projects. Fault costs increase with later detection.
4. High system complexity and further development require early, powerful test concepts as well as corresponding test environments. Delayed tests lead to losses in efficiency and project risks.
5. Deviations from the standard must be avoided, as they increase costs and complexity. Standardisation and interoperability are decisive for efficient and repeatable integration.

The initial experience with dLST gained from the DKS project (Digital Node Stuttgart) has shown that significant, unforeseeable difficulties that lead to considerable project delays can arise during system integration within a project. Since digital systems also require regular updates and system adaptations throughout their lifecycles, the resulting system testing processes and possibly necessary changes to approvals represent a major hurdle for any interlockings in operation. It is therefore necessary to perform the overall system integration in a test and reference environment that is decoupled from rail operations and thus enables extensive test activities as well as adaptations to the digital subsystems. A test and reference environment means that it is possible to test and release not only the initial system integration but also any updates and system adaptations before their implementation in the field throughout the lifecycle of the subsystems.

2 An overview of the Test and Reference Environment (TRE)

The TRE is initially to be understood as a technical facility with possible uses in various sub processes. The focus of the first expansion stage is on overall system tests and the overall dLST system integration.

Overall system integration refers to the process that follows the product phase and the subsystem qualification, including the approval testing of the subsystems, and integrates them into the dLST system in accordance with the system integration plan. The system qualification certificate (SQC) is a positive process result.

The possible geographical architecture for a test and reference environment is influenced by various factors. These include the number of digital subsystems, the number of different manufacturer solutions, the stakeholders involved, including the manufacturers, research institutions and Deutsche Bahn AG's (DB) locations, and the integration of DB provided components such as GSM-R. The preferred architecture that takes these requirements into account is depicted as a networked test and reference environment in fig. 2. Networking between laboratories at different locations is also possible since the digital subsystems of the dLST overall system have been realised with a communication network based on IP technology. Interactions with latency and system runtime measurements must also be taken into account.

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

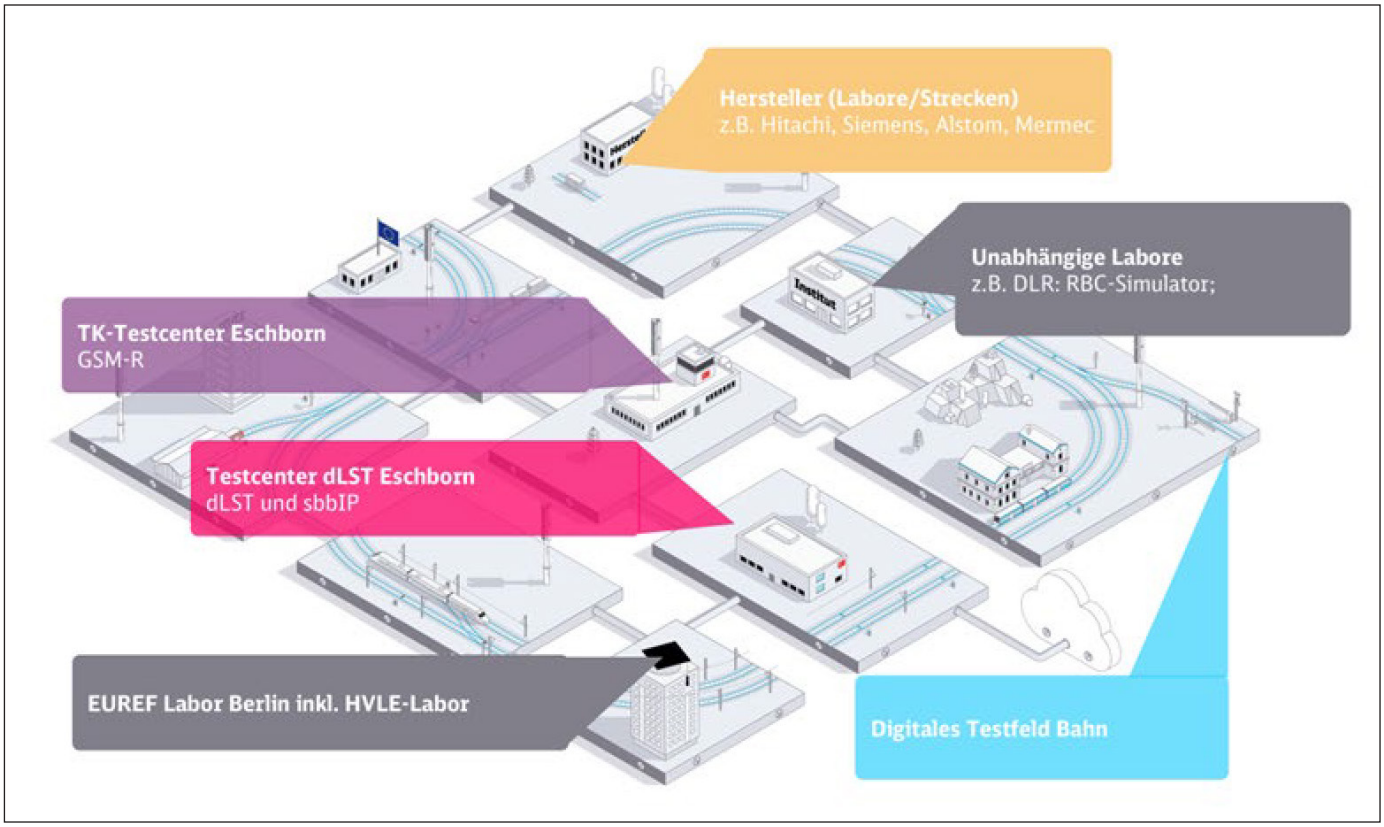


Bild 2: Vernetzte Test- und Referenzumgebung dLST
Fig. 2: A networked dLST test and reference environment

Damit kann die Test- und Referenzumgebung flexibel an die jeweils benötigten Bedürfnisse angepasst werden, z. B. an eine Entwicklungsbegleitung der dLST-Hersteller durch Beistellung des sbbIP-Netzes am Entwicklungsstandort (außerhalb von Sicherheitsnachweisen).
Mittels eigens konzipierter, vorbestückter, mobiler Racks werden zukünftig alle technischen Voraussetzungen (Netzwerkkomponenten, Redundanzkanäle, …) für einen Point-of-Service am jeweiligen Zugangsnetz zur Verfügung gestellt. Somit sind technisch vollständig und kompakt Integrationen von verteilten oder auch wechselnden Laborstandorten über das Übertragungssystem möglich.
Die Test- und Referenzumgebung auf Seiten der DB wird durch das Testcenter dLST, das Digitale Testfeld Bahn, das TK-Testcenter sowie das EUREF-Labor gebildet. Weitere Standorte wie das Labor des DLR oder Herstellerlabore sind ebenfalls eingebunden und ermöglichen eine Vielzahl von Testkonfigurationen.

3 Das Testcenter dLST in Eschborn

Der Kern der Test- und Referenzumgebung wird mit dem Testcenter dLST [1] realisiert, das sich in Eschborn bei Frankfurt am Main befindet. Das Testcenter besteht im Wesentlichen aus einem Datacenter mit einer Fläche von 600 m² sowie einem Office-Bereich auf einer Fläche von 500 m². Im Office-Bereich befinden sich neben Büroarbeitsplätzen auch Räume für Bedienplätze, Montagetätigkeiten sowie ein Besprechungsraum. Das Datacenter ist in mehrere klimatisierte Technikräume aufgeteilt, in denen Systemtechnikkomponenten sowohl in Standard 19" Schränken als auch in herstellerspezifischen Bauweisen aufgebaut werden können. Alle Testräume verfügen über Patchpanels in LWL- und CAT7-Netzwerktechnik, um Komponenten flexibel innerhalb eines Technik-

This allows the test and reference environment to be flexibly adapted to the given requirements, for example to accompany any development undertaken by dLST manufacturers by providing the sbbIP network at the development location (outside safety evidence).
All the technical prerequisites, such as network components and redundancy channels, will be provided in the future by means of specially designed, pre configured mobile racks for a point of service at the given access network. This makes it technically possible to realise fully integrated and compact integrations of distributed or changing laboratory locations via the transmission system.
The test and reference environment on the DB side consists of the dLST Test Centre, the Digital Railway Testbed, the Telecommunications Test Centre and the EUREF laboratory. Further locations, such as the DLR laboratory or manufacturer laboratories, are also integrated and enable a wide variety of test configurations.

3 The dLST Test Centre in Eschborn

The core of the test and reference environment is realised with the dLST Test Centre [1], located in Eschborn near Frankfurt am Main. The test centre essentially consists of a data centre with an area of 600 m² as well as an office area with an area of 500 m². In addition to the office workplaces, the office area also includes rooms for operator workplaces, assembly activities and a meeting room. The data centre is divided into several air conditioned technical rooms in which system technology components can be installed both in standard 19 inch racks and in manufacturer specific designs. All the test rooms have been equipped with fibre optic and CAT7 network patch panels in order to realise flexible

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

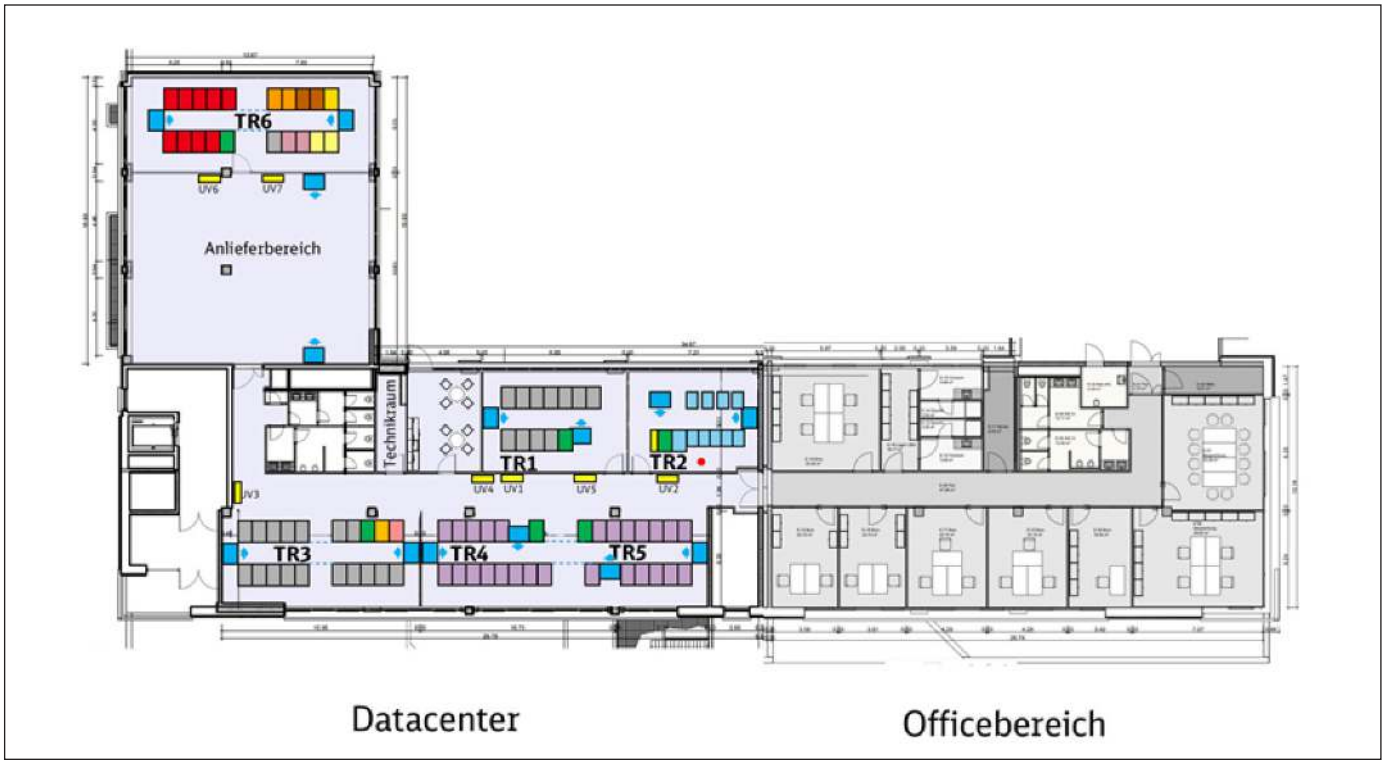


Bild 3: Grundriss des Testcenter dLST
Fig. 3: The dLST Test Centre floor plan

raums und zu anderen Räumen realisieren zu können. Da die Vernetzung der digitalen Teilsysteme über sbbIP erfolgt, befindet sich im Datacenter neben den dLST-Systemen auch eine umfangreiche sbbIP Test- und Referenzinstallation (Bild 3).

interconnections within a technical room and to other rooms. As the networking of the digital subsystems is carried out via sbbIP, there is also an extensive sbbIP test and reference installation in the data centre alongside the dLST systems (fig. 3).

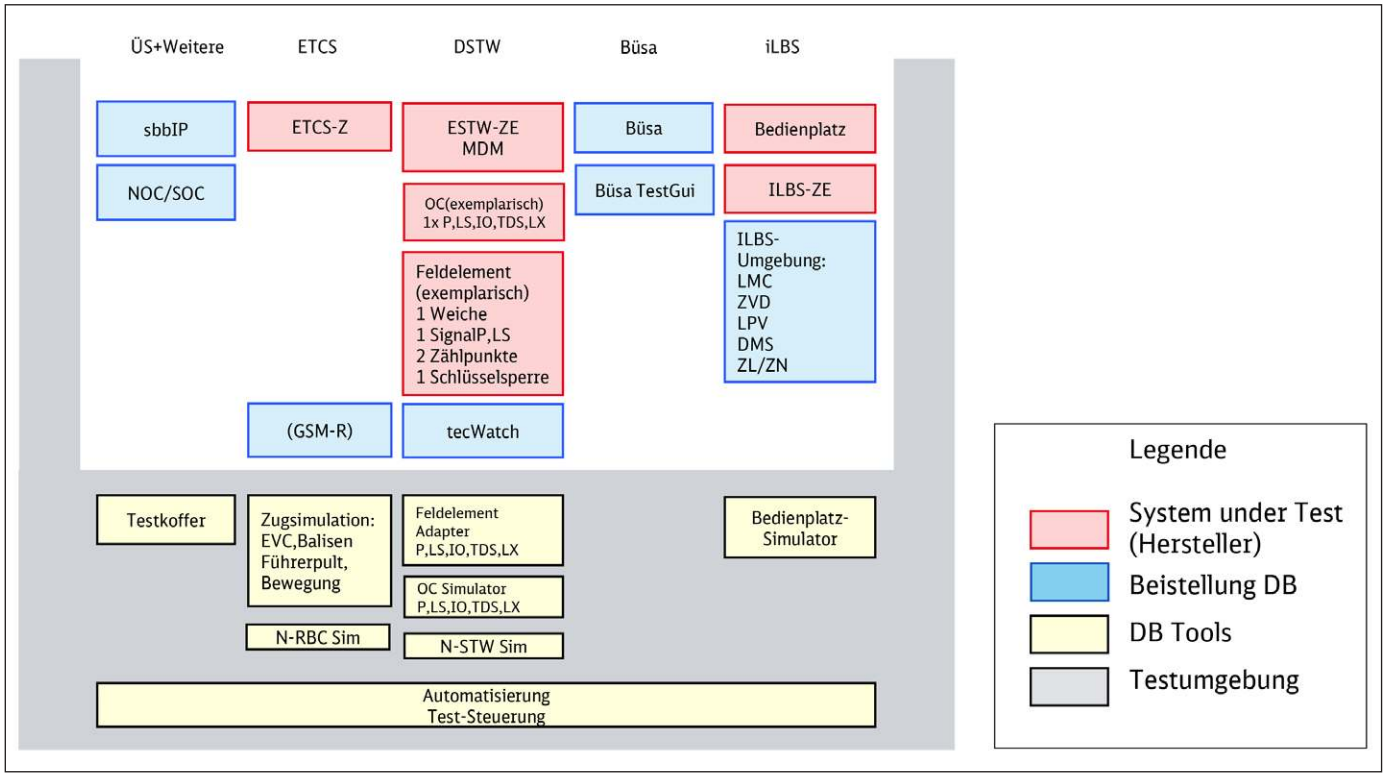


Bild 4: Übersicht Teststraße dLST mit Teilsystemen
Fig. 4: An overview of the dLST test track with subsystems

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Für einen Gesamtsystemtest dLST müssen sämtliche Teilsysteme der dLST-Hersteller als auch die Beistellungen der DB berücksichtigt werden. Es werden bis zu vier technisch getrennte Teststraßen (herstellerspezifisch) zur Verfügung stehen. Damit wird eine parallele Durchführung von Testkampagnen und eine Erhöhung der Testkapazitäten ermöglicht. Die genaue Anzahl der jeweils in Nutzung befindlichen Teststraßen richtet sich dabei nach dem Testbedarf und der geplanten Erweiterung der Räumlichkeiten sowie der Möglichkeiten durch die Laborvernetzung. Bild 4 zeigt einen Überblick der beteiligten Systeme für die Teststraßen.
Von den dLST-Herstellern werden in den Teststraßen neben der ESTW-Zentraleinheit (ESTW-ZE), einer ETCS-Zentraleinheit (ETCS-ZE) und einer Zentraleinheit des integrierten Leit- und Bediensystems (iLBS-ZE) auch ein Bedienplatzsystem (iBS) zur Verfügung gestellt. Für die Feldebene werden Object Controller (OC) sowie die zugehörigen Feldelemente, wie z. B. Weichenantriebe etc. mit jeweils einem Testobjekt pro Teilsystemart, benötigt. Diese können für ausgewählte Testszenarien auch an anderen Standorten, wie z. B. im Digitalen Testfeld Bahn, aufgebaut werden. Für ETCS-Tests wird eine Vernetzung der ETCS-ZE zum GSM-R-Testsystem (zukünftig auch FRMCS-Testsystem) im TK-Testcenter sowie ins Digitale Testfeld Bahn realisiert. Vonseiten der DB werden das sbbiP-Netz einschließlich einer NOC-Umgebung (Network Operation Center) sowie einer SOC-Umgebung (Security Operation Center) realisiert. Die Technik für eine Bahnübergangssicherungsanlage (Büsa) sowie für TecWatch (Überwachung der Umsysteme im Stellwerk) ergänzen die Teststraße. Einen weiteren wesentlichen Bestandteil der Teststraße bildet die iLBS-Umgebung der DB, mit der die Bedienung und Überwachung der dLST realisiert wird.
Eine vollständig aufgebaute und vernetzte Teststraße bildet somit eine stabile Grundlage für eine Gesamtsystemintegration und einen anschließenden Gesamtsystemtest.

4 Testumgebung und Testautomatisierung

Jede Teststraße verfügt über eine Testumgebung (Bild 4). Die Testumgebung muss eine große Anzahl von Testmöglichkeiten unterstützen, um die Teilsysteme sowohl einzeln als auch im Gesamtsystem testen zu können. Hierzu werden verschiedene Simulatoren bereitgestellt, wie z. B. eine Zugsimulation oder eine RBC-Simulation (Radio Block Center). Für Funktionstests zu Nachbarstellwerken stehen N-STW-Simulatoren zur Verfügung, sofern die entsprechenden Teststraßen verschiedener Hersteller noch nicht vollständig genutzt werden können. Um Tests an den standardisierten Schnittstellen zu ermöglichen, sind ein OC-Simulator und ein Feldelementadapter integriert. Somit können Systemfunktionstests und Interoperabilitätstests zu Feldelementen auch ohne physikalische Komponenten durchgeführt werden. Die Simulatoren ermöglichen, dass Systemfunktionen (wie z. B. die Zulässigkeitsprüfung einer Fahrstraße) durchführbar sind, bieten aber auch vielseitige Möglichkeiten für Fehlerinjektion, Manipulation des Systemverhaltens für Testszenarien (z. B. Etablieren von Vorbedingungen, Simulation von Zugbewegungen / Gleisfreimeldungen) und Nachbildung realistischer Lasten.
Durch den Einsatz der Simulatoren ist es z. B. auch möglich, die dLST-Hersteller in der Entwicklungsphase der Teilsysteme zu unterstützen. Im Rahmen von Teilsystemtests können so frühzeitig Abweichungen und Fehler identifiziert werden und in den Entwicklungsprozess außerhalb der Sicherheitsnachweisführung einfließen.
Um eine Vielzahl von Testfällen effizient und reproduzierbar durchführen und auswerten zu können, ist eine Testautomatisie-

All the dLST manufacturers' subsystems as well as the DB provided components must be taken into account for an overall dLST system test. Up to four technically separated test tracks, specific to manufacturers, will be available. This enables the parallel execution of test campaigns and increased testing capacities. The exact number of test tracks in use at any given time depends on the test demand and the planned expansion of the premises as well as the possibilities offered by laboratory networking. Fig. 4 shows an overview of the systems involved in the test tracks.
In addition to the interlocking central unit, the dLST manufacturers provide the ETCS central unit, an integrated control and operating system central unit, as well as an operator workstation system at the test tracks. Object controllers (OC) and the associated field elements such as point machines are required for the field level, with one test object per subsystem type. These can also be set up at other locations, such as in the Digital Railway Testbed, for selected test scenarios. The networking of the ETCS central unit to the GSM-R test system and also to the FRMCS test system, the Telecommunications Test Centre and the Digital Railway Testbed in future has been realised for ETCS tests. The sbbIP network, including a network operation centre environment and a security operation centre environment, has been realised on DB side. The technology for a level crossing protection system as well as for TecWatch, the monitoring of peripheral systems in the interlocking, complements the test track. Another essential test track component is the DB iLBS (integrated control and operating system) environment, with which the operation and monitoring of the dLST is realised.
A fully installed and networked test track thus forms a stable basis for overall system integration and a subsequent overall system test.

4 The test environment and test automation

Each test track is equipped with a test environment (fig. 4). The test environment must support a large number of test possibilities in order to test the subsystems both individually and in the overall system. Various simulators are provided for this purpose, such as a train simulator or an RBC (Radio Block Centre) simulator. Neighbouring interlocking simulators are available for functional tests with neighbouring interlockings if the corresponding test tracks from different manufacturers cannot yet be fully used. An object controller simulator and a field element adapter have been integrated in order to enable tests at the standardised interfaces. This allows system function tests and interoperability tests with field elements to be carried out even without any physical components. The simulators enable system functions such as the permissibility check of a route to be executed, but also offer versatile possibilities for fault injection, the manipulation of system behaviour for test scenarios, such as the establishment of preconditions, the simulation of train movements and track vacancy detection and the reproduction of realistic loads.
The use of simulators also enables, for example, support for dLST manufacturers in the development phase of the subsystems. Any deviations and faults can thus be identified in the subsystem tests at an early stage and incorporated into the development process outside the safety evidence.
The performance and evaluation of a large number of test cases efficiently and reproducibly requires test automation. With test automation, the tests are executed on the basis of test case cata-

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

rung erforderlich. Mit der Testautomatisierung werden Tests auf Basis von Testfallkatalogen ausgeführt und die Testergebnisse in einem Software-Tool strukturiert abgelegt. Die integrierte Teststeuerung ermöglicht dabei eine flexible Durchführung verschiedenster Testkampagnen. Auf diese Weise werden Fehler aufgrund von manuellen Prozessen vermieden und wird eine große Zuverlässigkeit in der Durchführung und Dokumentation sichergestellt.
Da die existierende Anforderungsspezifikation der dLST der Struktur nach Teilsystemen folgt und kaum konsolidierte Anforderungen an das Gesamtsystem existieren, wurden eigene Testfallkataloge für die TRU zusammengestellt. Diese kombinieren technische Anforderungen an Teilsysteme und deren Zusammenwirken, wie auch betriebliche Eigenschaften des Gesamtsystems.
Diese Testfallkataloge für Interoperabilitäts-, Integrations- und Systemtests (Systemfunktionstests, Zuverlässigkeitstests, Performancetests) leiten sich aus einer Vielzahl von Quellen ab. Relevanz haben hier vor allem die jeweils für das SuT (System under Test) gültigen Lastenheftstände. Weitere Testfallkataloge werden für Gesamtsystemtests erstellt, mit denen die Ende-Zu-Ende Funktionalitäten oder auch Störungsszenarien abgedeckt sind.

5 Digitales Testfeld Bahn

Um auch Tests in einer realitätsnahen Umgebung durchführen zu können, ist in Scheibenberg (Erzgebirge) das Digitale Testfeld Bahn [2] realisiert worden. Das Testfeld befindet sich an der Strecke 6624 zwischen Markersbach und Schlettau, die seitens der Erzgebirgsbahn als Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) nur sehr selten genutzt wird und somit ideal für Tests und Erprobungen geeignet ist (Bild 5).
Das Testfeld nutzt neben dem Regelbetriebsgleis drei Testgleise, die über verschließbare Weichen abgetrennt sind und so autark für verschiedenste Zwecke verwendet werden können. Kernstück des Testfeldes sind zwei ehemalige Bahnhofsgebäude, die heute als Laborzentrale und Medienversorger ausgeführt sind. Diese Gelogues and the test results are stored in a structured manner in a software tool. The integrated test control enables the flexible execution of a wide variety of test campaigns. In this way, any faults due to manual processes are avoided and a high level of reliability is ensured in the execution and documentation.
Since the existing requirements specification for the dLST follows a structure based on subsystems and hardly any consolidated requirements for the overall system exist, separate test case catalogues have been compiled for the test and reference environment. These combine the technical requirements for subsystems and their interactions as well as the operating characteristics of the overall system.
These test case catalogues for interoperability, integration and system tests, including system function tests, reliability tests and performance tests, are derived from a large number of sources. Of particular relevance here are the respective requirement specification versions that are valid for the system under test (SuT). Further test case catalogues are created for overall system tests that cover end to end functionalities as well as fault scenarios.

5 The Digital Railway Testbed

The Digital Railway Testbed [2] has been realised at Scheibenberg, Erzgebirge (the Ore Mountains) in order to enable the tests to be performed in a realistic environment. The test field is located on line 6624 between Markersbach and Schlettau, which is only used very rarely by Erzgebirgsbahn as the infrastructure manager and is therefore ideal for tests and trials. (fig. 5)
In addition to the regular operating track, the test field also uses three test tracks that are separated by lockable points and can therefore be used autonomously for a wide variety of purposes. The test field's core consists of two former station buildings that are now designed as a laboratory control centre and media supply. These buildings fulfil the central functions for the provision of power, the net-

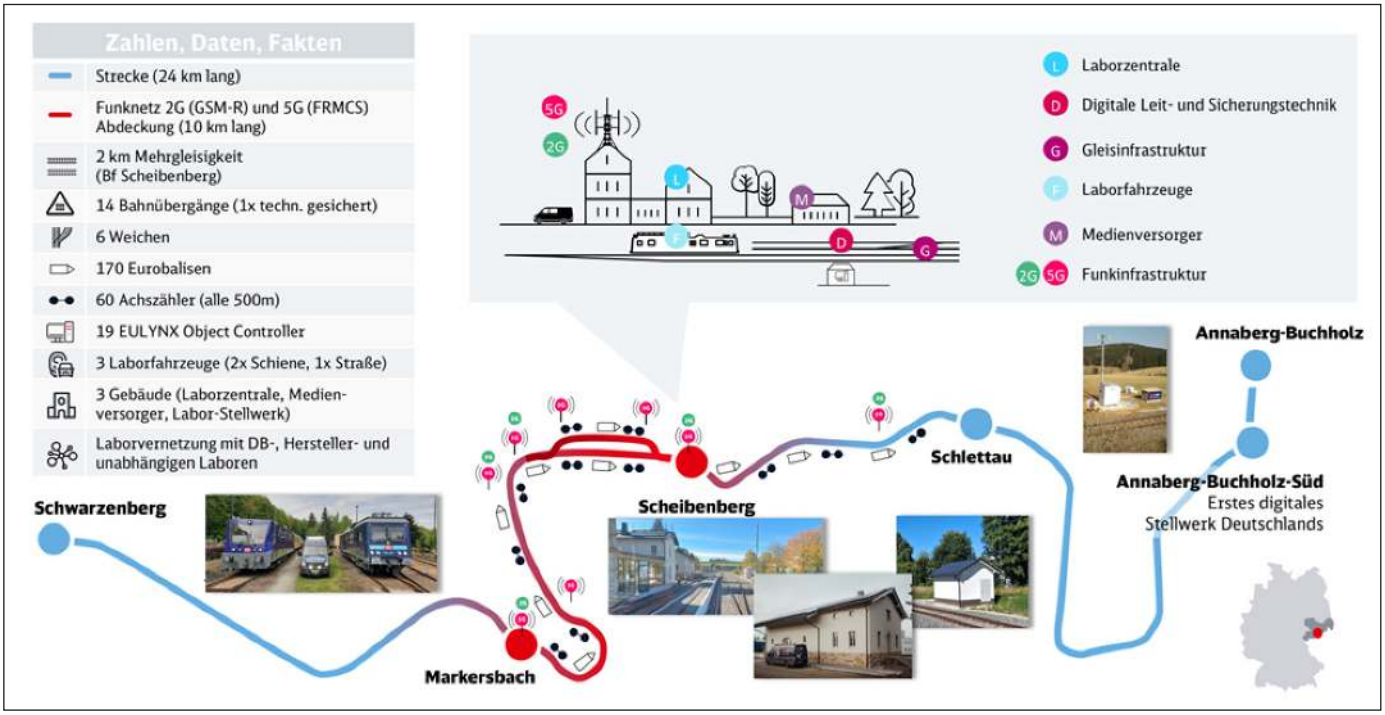


Bild 5: Übersicht des Digitalen Testfelds Bahn
Fig. 5: An overview of the Digital Railway Testbed

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

bäude erfüllen zentrale Funktionen zur Bereitstellung von Strom, Netzwerk (IT / OT), Internet und Funk sowie als zentrale Schnittstelle zur Vernetzung mit anderen Testlaboren und zu einem iLBS.
Für Messungen und Erprobungen ist über eine Strecke von 10 km ein GSM-R-Testnetz aufgebaut, das zusätzlich mit dem GSM-R-Zentralsystem im TK-Testcenter vernetzt ist. Zudem ist ein FRMCS-Testnetz entlang der Strecke 6624 realisiert, welches zu Entwicklungs- und Erprobungszwecken verwendet wird, z. B. im Projekt 5G/RACOM und MORANE [3, 4].
Die Gleisanlage ist mit Achszählern und Weichenantrieben ausgestattet, die aus einem Gleisfeldkonzentrator-Prototyp mit entsprechenden OC angesteuert werden, die das EULYNX- und NEUPRO-Protokoll unterstützen. Über eine Vernetzung mit dem Testcenter dLST sind somit auch Testszenarien mit den Teststraßen abbildbar. Zusätzlich sind im Gleisfeld auch Eurobalisen verlegt, um ETCS-Tests durchzuführen, z. B. die Erprobung der ETCS-Kuppelfahrstraße [5].
Das Digitale Testfeld Bahn verfügt zudem über zwei Schienenlaborfahrzeuge und ein Labor-Kfz (Bild 6). Das Schienenlaborfahrzeug BR 707 wurde als Technologieträger- und Messfahrzeug entwickelt und verfügt über Messarbeitsplätze sowie Schränke zur Aufnahme von Messgeräten und Rechnern und wird insbesondere für GSM-R-Messungen verwendet. Mit dem Schienenlaborfahrzeug der Baureihe 708 werden insbesondere Tests im Kontext von ETCS und FRMCS durchgeführt. Es unterstützt getrennte Betriebsmodi (Regelbetrieb / Laborbetrieb) für einen sicheren Einsatz, verfügt über einen begehbareren Dachaufbau mit modularen Antennenplätzen sowie eine Labor-ETCS Ausrüstung. Für Messaufgaben zu GSM-R oder FRMCS entlang der Gleise steht das Labor-Kfz vom Typ Mercedes Sprinter zur Verfügung.
Der Einsatz von alternativen Fahrzeugen, z. B. Advanced Trainlab, ist bereits erfolgreich umgesetzt worden.
Somit ist das Testfeld mit seiner lokalen Infrastruktur und der Möglichkeit, Gleisfeldkomponenten flexibel zu verändern, ideal geeignet, um neue digitale Techniken im Feld zu erproben. Auf der anderen Seite ist es mit der Vernetzung zu anderen Testlaboren möglich, auch komplexe Tests und Erprobungen durchzuführen, z. B. den Moving Block Demonstrator im Rahmen des ERJU-Projektes [6].

work infrastructure (IT / OT), internet and radio, as well as acting as a central interface for networking with other test laboratories and an iLBS.
A GSM-R test network has been set up over ten kilometres for measurements and trials and has additionally been networked with the GSM-R core system at the Telecommunications Test Centre. In addition, an FRMCS test network has been realised along line 6624, which is being used for development and trial purposes, for example in the 5G RACOM and MORANE projects. [3, 4]
The track installation is equipped with axle counters and point machines that are controlled from a prototype track field concentrator with corresponding OC that support the EULYNX and NEUPRO protocols. Test scenarios with the test tracks can thus also be realised by networking with the dLST Test Centre. In addition, Eurobalises have also been installed in the track field in order to carry out ETCS tests, for example the testing of the ETCS coupled route. [5]
The Digital Railway Testbed also has two rail laboratory vehicles and a road laboratory vehicle. (fig. 6) The BR 707 rail laboratory vehicle has been developed as a technology carrier and measurement vehicle and has measurement workplaces as well as cabinets for accommodating measuring devices and computers. It is used in particular for GSM-R measurements. The Series 708 rail laboratory vehicle is mainly used for tests within the context of ETCS and FRMCS. It supports separate operating modes for safe use, regular operations and laboratory operations and has a walk on roof structure with modular antenna positions and ETCS laboratory equipment. The Mercedes Sprinter laboratory vehicle is available for measurement tasks relating to GSM-R or FRMCS along the track.
The use of alternative vehicles, such as the Advanced TrainLab, has already been successfully implemented.
Thus, its local infrastructure and the possibility of flexibly modifying the track field components mean that the test field is ideally suited for testing new digital technologies in the field. On the other hand, networking with other test laboratories also makes it possible to carry out complex tests and trials, for example the moving block demonstrator within the framework of the ERJU project [6].

Bild 6: Laborfahrzeuge des Digitalen Testfeld Bahn
Fig. 6: The Digital Railway Testbed laboratory vehicles

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

6 Ausblick

Um genügend Kapazität für die angestrebte Anzahl von Teststraßen sowie für die FRMCS-Teilsysteme bereitzustellen, ist in diesem Jahr eine Vergrößerung des Testcenters dLST in Eschborn geplant. Mit dem weiteren Ausbau des Testcenters dLST und der Einführung von FRMCS steigen die Anforderungen an Integration, Testfähigkeit und Nachweisführung im dLST-Umfeld kontinuierlich. Parallel gewinnt die Qualifizierung der TRU weiter an Bedeutung.

Für die TRU bedeutet dies, dass sowohl Konfigurationen (z. B. Planung, Projektierung, Testfallkataloge), eingesetzte Software (Simulatoren, Testautomatisierung, Monitoring) als auch ergänzende Hardware (Netzwerk- und Testinfrastruktur) systematisch auf ihre Eignung für den jeweiligen Verwendungszweck bewertet werden müssen. Ziel ist eine belastbare und nachvollziehbare Grundlage für Testergebnisse.

Die hierfür notwendigen Qualifizierungsprozesse wurden initiiert; entsprechende Methoden, Nachweisdokumente und Bewertungsgrundlagen befinden sich im Aufbau.

Innerhalb der nächsten zwei bis drei Jahre werden die dLST-Hersteller ihre Systeme kontinuierlich weiterentwickeln und gemeinsam mit der DB in der Test- und Referenzumgebung zu einem Gesamtsystem integriert. ■

6 Outlook

An expansion of the dLST Test Centre in Eschborn has been planned for this year in order to provide sufficient capacity for the targeted number of test tracks and for the FRMCS subsystems. The integration, testability and evidence generation requirements in the dLST environment will continue to increase with the further expansion of the dLST Test Centre and the introduction of FRMCS. At the same time, the qualification of the TRE is also gaining further importance. This means that any test and reference environment configurations, such as the planning, engineering and test case catalogues, the used software, including any simulators, test automation and monitoring, as well as the supplementary hardware, such as network and test infrastructure, must be systematically assessed for their suitability with regard to the intended use. The goal is a robust and comprehensible basis for test results.

The qualification processes required for this have been initiated, while corresponding methods, evidence documents and assessment bases are currently under development.

dLST manufacturers will continue to develop their systems over the next two to three years and integrate them along with DB into an overall system within the test and reference environment. ■

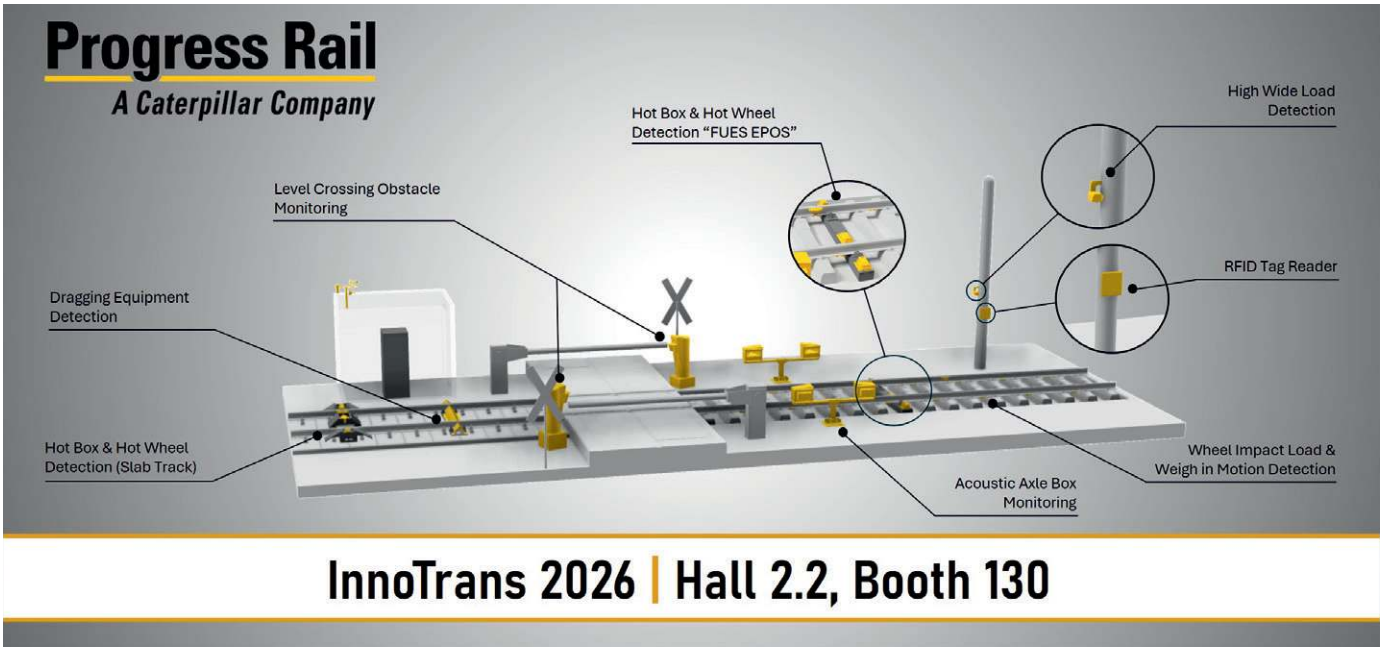
LITERATUR | LITERATURE

[1] https://digitale-schiene-deutschland.de/de/projekte/dLST (abgerufen am 09.04.2026)
[2] https://digitale-schiene-deutschland.de/de/projekte/digitales-testfeld-bahn (abgerufen am 09.04.2026)
[3] Karabinos, T.; Holfeld, B.; Weber, A.; Hassan, M; Wriston, K.; Taferner, M.; Shaik, Z.; Apitzsch, A.: 5G-RACOM – Ergebnisse von Multipath-Protokolltests für hybride FRMCS-Netze, SIGNAL+DRAHT 05/2026
[4] Karabinos, T.; Holfeld, B.; Fritzsche, R.; Alte, N.; Taferner, M.; Shaik, Z.; Moessner, M.; Chkeri, M.: 5G-RACOM – Feldstudie zu hybriden FRMCS-Netzen für ein resilientes Bahnfunksystem, SIGNAL+DRAHT 09/2024
[5] Fielitz, J.; Jacob, J.; Reinhart, P.; Schön, F.; Stritzke, H.; Claus, S.: Betriebliche Validierung der Kuppelfahrstraße im Digitalen Testfeld Bahn, SIGNAL+DRAHT 05/2026
[6] https://digitale-schiene-deutschland.de/de/aktuelles/2025/MBD_Testaktivitaeten (abgerufen am 10.04.2026)

AUTOREN | AUTHORS

Holger Stritzke
Manager Test Center Digital CCS Systems
DB InfraGO AG
Anschrift / *Address*: Adam-Riese-Straße 11-13, D-60327 Frankfurt am Main
E-Mail: holger.stritzke@deutschebahn.com

Christoph Müller
Co-Founder, Managing Director
Systems Lab 21 GmbH
Anschrift / *Address*: August-Bebel-Straße 88, D-14482 Potsdam
E-Mail: christoph.mueller@systemslab21.com



©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Inbetriebnahme von ETCS Level 2 zwischen Oberlahnstein und Assmannshausen

Commissioning of ETCS Level 2 between Oberlahnstein and Assmannshausen

Nils-Hagen Staudt | Daniel Cramer | Alexander Schuler | Wilko Eisele

Mit dem Projekt „Korridor Rhine Alpine“ werden 1360 km Eisenbahnstrecke zwischen Oberhausen Sterkrade und Haltingen mit European Train Control System (ETCS) Level 2 (L2) ausgerüstet [1]. Nach der erfolgreichen Inbetriebnahme (IBN) der drei Radio Block Centres (RBC) des Herstellers Hitachi Rail auf der Rheintalbahn ging am 13. Dezember 2025 nun auch der 55 km lange Abschnitt zwischen Oberlahnstein (Rheinland-Pfalz) und Assmannshausen (Hessen) in Betrieb. Das RBC Oberlahnstein Süd ist das erste Serienprojekt des Herstellers Hitachi, in dem viele prozessuale Ablaufoptimierungen aus dem Vorgängerprojekt angewendet werden konnten.

Between Oberhausen-Sterkrade and Haltingen, 1,360 km of railway track are being equipped with European Train Control System (ETCS) Level 2 (L2) as part of the “Rhine-Alpine Corridor” program [1]. The 55 km section between Oberlahnstein (Rhineland-Palatinate) and Assmannshausen (Hesse) entered service on 13 December 2025 following the successful commissioning of three Hitachi Rail Radio Block Centres (RBC) on the Rhine Valley line. The Oberlahnstein South RBC represents Hitachi Rail’s first series ETCS project, incorporating a wide range of process improvements originating from the previous pilot installation.

Bild 1: Blick aus der Vectron auf den Rhein mit Balisen, Ne14 Tafel und dunkelgeschaltetem Signal
Fig. 1: The view from a Vectron locomotive towards the Rhine, showing the balises, a Ne 14 board and a darkened signal

Quelle / *Source*: W. Eisele

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

1 Ausrüstungsbereich

Der Ausrüstungsbereich erstreckt sich von Oberlahnstein (Rheinland-Pfalz) bis Assmannshausen (Hessen) (Bild 1). Das RBC Oberlahnstein Süd ist an die Unterzentrale (UZ) Oberlahnstein Süd angebunden, deren Software in einem Parallelprojekt hochgerüstet wurde, sodass ein Betrieb mit ETCS L2 möglich ist. Die vorhandene Punktförmige Zugbeeinflussung (PZB) samt Lichtsignalen blieb erhalten, um einen Mischbetrieb mit PZB und ETCS L2 mit Signalen (L2mS) zu ermöglichen. Am Ende des ETCS-Ausrüstungsbereichs ist jeweils ein Wechsel nach PZB vorgesehen.

2 ETCS-Ready-Maßnahme

Im Zuge der ETCS-Ready-Maßnahme erfolgten gleichzeitig zum ETCS-Einbau auch Anpassungen an Stellwerk [2] und Bedienoberfläche (BO) [3]. Da das Elektronische Stellwerk (ESTW) fortlaufend mit dem RBC kommuniziert, müssen die eingesetzten Softwarestände miteinander kompatibel sein. Die Erfahrungen aus dem vorliegenden Projekt sowie aus dem Pilotprojekt auf der Rheintalbahn [2] haben gezeigt, dass es sinnvoll ist, sowohl zum Zeitpunkt der Herstellung der Funktionsfähigkeit (HdF) als auch zur IBN von ETCS in einem Projekt jeweils eine Sperrpause und ein Projektierungsupdate des ESTW einzuplanen, um eventuell auftretende Inkonsistenzen unmittelbar korrigieren zu können. Beim HdF wird die erste Softwareversion eingespielt, mit der die Abnahmefahrten durchgeführt werden können. Vor der IBN lassen sich dann Fehlerkorrekturen etwaiger Auffälligkeiten aus den Testfahrten einbringen. Andere zeitliche Abfolgen erwiesen sich als ungünstig, da Unstimmigkeiten im Zusammenspiel zwischen ESTW, ETCS-BO und RBC jederzeit auftreten können.
Diese Maßnahmen wurden gebündelt im parallellaufenden ETCS-Ready-Projekt umgesetzt.

3 Planung

Die PT1-Planung für das Projekt „RBC Oberlahnstein Süd" begann bereits zweieinhalb Jahre vor der Beauftragung des Herstellers. In diesem Zeitraum wurde eine Anpassung an der zugrunde liegenden Ril 819.1344A02 vorgenommen, wodurch eine Überarbeitung der PT1-Planung erforderlich wurde. Die frühzeitige Integration dieser Neuerungen in die PT1-Planung stärkte die Qualität der späteren Umsetzung. Für Planungsbüros sowie Prüfinstanzen besteht die anspruchsvolle Aufgabe, Veränderungen konsequent nachzuverfolgen und überholte Elemente sowie Abhängigkeiten zu aktualisieren, um die Übereinstimmung mit dem jeweils aktuellen Richtlinienstand sicherzustellen.
Als wesentlicher Erfolgsfaktor im vorliegenden Projekt hat sich die präzise Vermessung der Strecke vor Beginn der ETCS-PT1-Planung erwiesen. Insbesondere auf Bestandsstrecken zeigt sich häufig, dass die Lage von Signalen oder anderen streckenseitigen Komponenten von den Angaben in den vorhandenen ESTW-Unterlagen abweicht. Solche Diskrepanzen, teilweise um mehrere Meter, können zu erheblichen Abweichungen und Fehlern innerhalb der ETCS-PT1-Planung führen und sollten daher frühzeitig identifiziert und korrigiert werden. Für ein ESTW haben solche Abweichungen keine Auswirkungen auf die Sicherung der Strecke. ETCS hingegen benötigt für eine korrekte Funktion metergenaue Angaben in der Planung.

4 Projektierung der Software

Im PT1 werden Steigungen und Neigungen einer Strecke als Gradienten abgebildet. Erfolgt unmittelbar eine Steigung auf eine Neigung oder umgekehrt, entsteht ein Gradientenwechsel. Gemäß

1 Area of deployment

The deployment area extends from Oberlahnstein (Rhineland-Palatinate) to Assmannshausen (Hesse) (fig. 1). The Oberlahnstein South RBC is connected to the Oberlahnstein South interlocking, the software of which was migrated in a parallel project so as to enable ETCS operations. The existing punctiform train control (Punktförmige Zugbeeinflussung: PZB) system remains in place so as to permit mixed operations with PZB and ETCS with signals. Transitions back to PZB operations have been provided at both ends of the ETCS-equipped area.

2 ETCS Ready

Adjustments to the interlocking system [2] and the operator interface (BO) [3] were carried out in parallel with the ETCS installation as part of the ETCS Ready program. Since the electronic interlocking (ESTW) communicates continuously with the RBC, the used software versions must be mutually compatible. Experience from Oberlahnstein and from the pilot project on the Rhine Valley line has shown that it is advisable to schedule both a possession period and an interlocking configuration update at the time of establishing functional capability (HdF) and again for the ETCS commissioning (IBN), in order to correct any inconsistencies immediately. The first software version is loaded during the HdF phase, thereby enabling the acceptance runs to be performed. Any observations from the test runs as well as any final bug fixes can then be incorporated for the final commissioning process. Other sequencing approaches have also proven disadvantageous, as inconsistencies in the interaction between ESTW, ETCS-BO and RBC may arise at any time.
All the required measures were consolidated and executed within the parallel "ETCS Ready" project.

3 Planning

The PT1 planning for the Oberlahnstein South project began roughly two and a half years before the supplier contract was awarded. During this period, an amendment to the underlying Ril 819.1344A02 guideline was introduced that required a revision of the PT1 planning. For design offices and verification bodies, this creates the demanding task of consistently tracking changes and removing any outdated elements and dependencies in order to ensure compliance with the current version of the guideline.
The precise surveying of the line before the start of the ETCS PT1 proved to be a key success factor in the present project planning. It is frequently observed, especially on existing lines, that the actual position of signals or other trackside components deviates from the information contained in the existing ESTW documentation. Such discrepancies, sometimes by up to several metres, can lead to significant deviations and errors within the ETCS PT1 planning and should therefore be identified and corrected at an early stage. These deviations had no impact on the safety of train operations in the ESTW. However, ETCS requires metre-accurate planning data in order to function correctly.

4 Software engineering

The gradients in PT1 are represented as rising or falling values. When an incline immediately follows a decline (or vice versa), a gradient transition occurs. According to Section 75

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Ril 819.1344, Abschnitt 75 [6], dürfen die Neigungswerte im PT1 dabei nicht gerundet werden, sondern müssen vollständig übernommen werden. Es sind keine Regeln definiert, um Gradienten im PT1 zu glätten oder zusammenzufassen. Dies kann, insbesondere in langen Gegengleisabschnitten ohne Blockkennzeichen oder -signale, zu einer großen Anzahl an Gradientenwechseln innerhalb einer Movement Authority (MA) führen. Im vorliegenden Projekt wurden dadurch stellenweise die Vorgaben des UNISIG Subset-040, Kapitel 4.3.2.1.1 f [7], zur maximal zulässigen Anzahl von 31 Gradientenwechseln überschritten. Dies hat zur Folge, dass die MA verkürzt wird und bereits vor der vorgesehenen Position eine unerwünschte Überwachung der Bremskurve einsetzt, bevor die MA wieder verlängert werden kann.
Die ERTMS Engineering Guidelines [8] geben Hinweise zur Glättung von Gradienten, die zukünftig genutzt werden könnten, um die Anzahl an Gradientenwechseln im PT1 zu reduzieren. Dies würde den Vorteil bieten, dass für die PT2- und Abnahmeprüfung eine eindeutige und stabile Prüfgrundlage vorliegt und zugleich dem Betreiber ein definierter Einfluss auf die Glättungsstrategie ermöglicht wird. Alternativ kann, wie im vorliegenden Projekt, eine Lösung im Rahmen der PT2-Erstellung erfolgen.
Im konkreten Fall wurde der Problematik dadurch begegnet, dass im PT2 die Gradienten an den betreffenden Stellen bis zu 2000 m vor Geschwindigkeitsreduzierungen und KS-Signalen auf null gesetzt wurden (Bild 2). Alle weiteren Gradienten wurden gemäß den Vorgaben übernommen. Die resultierende Abweichung wurde seitens der DB InfraGO in einem internen Risikomanagementverfahren bewertet, sodass eine konforme Umsetzung nach der Technischen Spezifikation für Interoperabilität und IBN ermöglicht werden konnte.

5 Montage

Nach dem Vorbild der Rheintalbahn [4] wurden auch auf der rechten Rheinseite die Balisen im Verfahren „unter dem Rollenden Rad" eingebracht. Im Unterschied zum Pilotprojekt erfolgte die Montage jedoch ohne baubegleitende Abnahmeprüfung. Dies wurde durch die Einführung eines projektspezifischen, formal abgestimmten Prozesses ermöglicht, der das Vorgehen regelwerkskonform legitimierte.
Hauptbestandteil des Prozesses war ein durch einen unabhängigen Auditor sowie den Abnahmeprüfer durchgeführtes Sicherheitsaudit im Werk der Hitachi Rail. Dabei wurden der Programmier- und

of Ril 819.1344 [6], these gradient values must be adopted exactly as surveyed without any rounding. This can lead to a substantial number of gradient transitions within a single Movement Authority (MA), particularly on long opposite-track sections without any block markers or signals. In this project, the number of transitions in some places exceeded the UNISIG Subset-040 limit of 31 transitions [7], which resulted in shortened MAs and premature triggering of braking-curve supervision before the MA could be extended again.
The ERTMS Engineering Guidelines [8] propose approaches to smoothing gradient profiles, which could help in the future to reduce the number of transitions in PT1. This would offer clearer and more stable foundations for PT2 and acceptance testing and would also allow the infrastructure manager to define a consistent smoothing strategy. Alternately, the solution can also be implemented during the PT2 creation, as was the case in this project.
In the specific case of Oberlahnstein South, the issue was resolved by setting the gradients to zero for up to 2,000 m ahead of any speed reductions or signals (fig. 2). All the remaining gradients were retained according to the rules. The resulting deviation was assessed and accepted in a DB InfraGO internal risk-management procedure, thus ensuring TSI-compliant implementation and commissioning.

5 Installation

Following the approach used on the Rhine Valley line [4], the balises were installed "under traffic", i.e. under the rolling wheel. Unlike in the pilot project, however, the installation was performed without any on-site acceptance inspections during construction. This was made possible by means of the introduction of a project-specific and formally approved process that ensured full compliance with the applicable rulebooks.
A core element of this process was a safety audit performed by an independent auditor and the acceptance inspector at the Hitachi Rail production facility. The audit comprehensively reviewed the programming and verification processes for balises along with all the associated documentation and the results were recorded in a dedicated audit report. [9] This ensured that no incorrectly pro-

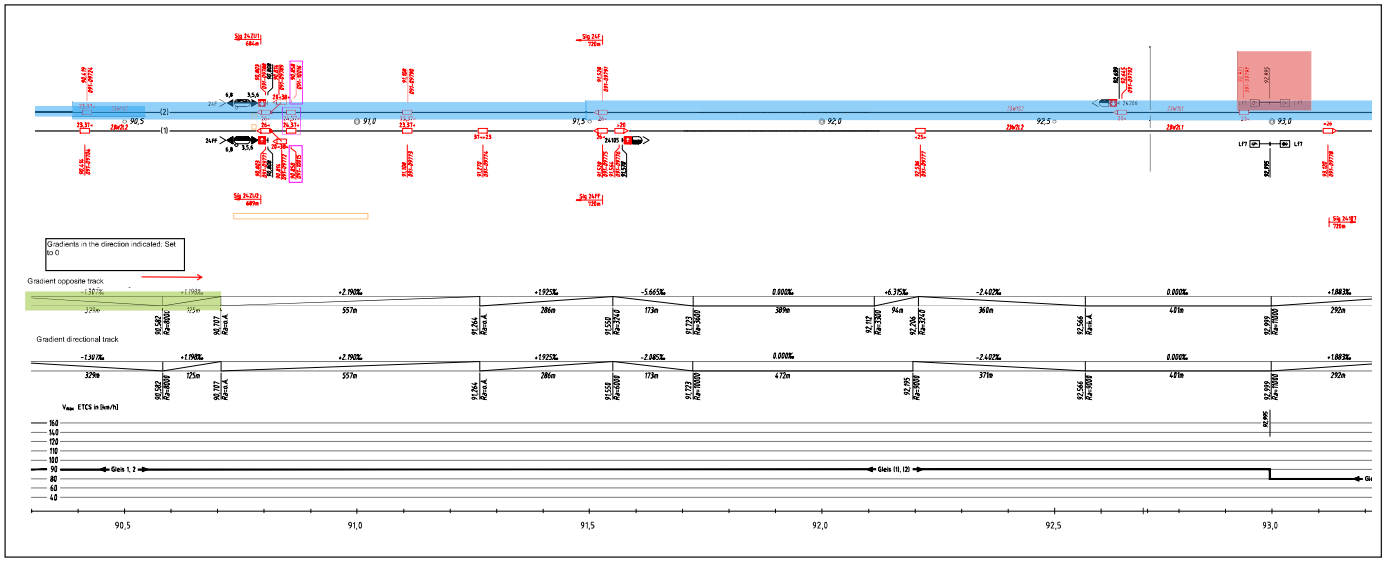


Bild 2: Gradientenglättung Oberlahnstein Süd (rot – maßgebliches Signal; grün – zu glättende Gradienten)
Fig. 2: Gradient smoothing in Oberlahnstein South (red – a governing signal; green – gradients to be smoothed)
Quelle / *Source*: DB & Hitachi Rail

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Prüfprozess der Balisen sowie die zugehörige Dokumentation umfassend bewertet und in einem Auditbericht festgehalten. [9] Durch dieses Vorgehen konnte sichergestellt werden, dass keine fehlerhaft programmierten Balisen das Werk verlassen. Zur Bestätigung, dass die Balisen im Feld korrekt verbaut worden waren, wurden zudem die Montageprotokolle herangezogen.

Ergänzend bestätigte ein durch den Hersteller vorgelegtes Rückwirkungsfreiheitskonzept [10], dass das Einbringen der Balisen ohne Abschirmbleche unbedenklich ist, sofern definierte Voraussetzungen eingehalten werden. Eine Beeinflussung von PZB-fahrenden Fahrzeugen konnte dabei ausgeschlossen werden. Sollte dennoch solch eine Beeinflussung auftreten, wurde analog zur Rheintalbahn der in [4] beschriebene Störfallerfassungsprozess angewandt. In enger Abstimmung aller beteiligten Stellen konnte das Verfahren im Projektverlauf reibungslos umgesetzt werden. Dieser Ablauf ist inzwischen auch in der Betriebserprobung 02-03-05-02-01-W-103 [11] festgehalten.

Zeitgleich stellte die Abnahme im Gleis das Projekt vor die Herausforderung, dass der Abnahmeprüfer aufgrund eisenbahnbetrieblicher Randbedingungen deutlich mehr Zeit im Gleis verbringen musste und daher auf Sperr- bzw. Zugpausen angewiesen war. Zukünftig soll das Vorgehen durch eine mögliche werkseitige Abnahme der Baliseninhalte weiter optimiert werden, da dadurch der Umfang der Tätigkeiten im Gleis reduziert und die Abnahmeprozesse effizienter gestaltet werden können.

Für die Projektlaufzeiten ist zudem eine möglichst fehlerfreie Montage der Balisen von zentraler Bedeutung. Durch die hohe Anzahl einzubringender Balisen, PT1-Änderungsmitteilungen sowie örtliche Randbedingungen kann die Ausrüstungssituation schnell unübersichtlich werden. Um die Prozesssicherheit zu erhöhen, setzt Hitachi Rail ein digitales Montagetool ein, in dem alle relevanten Prüffragen systematisch abgearbeitet und der jeweilige Montagezustand dokumentiert wird. Ergänzend wird jede Balise fotografisch erfasst. Das Foto zeigt sowohl die vom Vermessungsteam vorab am Schienenfuß angebrachte Anzeichnung als auch das Balisenschild mit NID-BG. Dadurch lässt sich auf einen Blick verifizieren, ob die Balise korrekt positioniert wurde (Bild 3).

6 Abnahme

6.1 Statische Abnahme

Um den Abnahmeprozess zu verkürzen und den Aufwand für die Abnahme zu reduzieren, wurde im Projekt „RBC Oberlahnstein Süd“ erstmals die digitale Vermessungsmethode X2BIM erfolgreich pilotiert [12]. Dabei wurde die Strecke mittels Drohnenflug hochauflösend erfasst und anschließend mit den vorhandenen Trassendaten verknüpft. Auf dieser Grundlage war es möglich, Distanzen von über 300 m zwischen Bezugspunkten und Balisen digital auszumessen und deren Richtigkeit für die Abnahme belastbar zu bestätigen. Dabei dienten die von Hitachi Rail bereitgestellten digitalen Vermessungsdaten als Grundlage, um die relevanten Standortinformationen direkt in das X2BIM-Modell zu importieren (Bild 4). Zur Verifizierung konnten die Balisen zudem eindeutig auf den aufgenommenen Bildern identifiziert werden.

Die Methode bietet über die reine Abnahme hinaus ein erhebliches Potenzial für zukünftige Projekte. Bereits in der PT1- und PT2-Planungsphase kann X2BIM eingesetzt werden, um geplante Einbauorte hinsichtlich Baufreiheit und örtlicher Gegebenheiten zu prüfen. Dies verhindert spätere Änderungszyklen. Gleichzeitig lassen sich präzise Geokoordinaten erzeugen, die dem Hersteller übergeben werden können, sodass Balisen während der Bauausführung punktgenau positioniert werden können.

grammed balises could leave the factory. The installation protocols were used for field confirmation to verify the proper placement and data integrity.

Additionally, the manufacturer also provided a concept for the absence of a reaction [10], thus confirming that installing the balises without any shielding plates is safe, provided specific conditions have been met. This assessment ruled out any interference with trains operating under PZB supervision. Nevertheless, should an unexpected incident occur, the same fault-logging process applied on the Rhine Valley line would also be used [4]. Close coordination among all the stakeholders ensured smooth implementation throughout the project and this procedure has since been documented in 02-03-05-02-01-W-103 [11].

The acceptance process on the track presented a particular challenge: the acceptance inspector had to spend significantly more time on the track due to operating constraints and was therefore dependent on possession windows and train-free periods. Future projects may benefit from the acceptance of the balise data, which would reduce the scope of any on-track inspections and significantly improve efficiency.

The high number of balises to be installed, the PT1 change notifications and the local boundary conditions mean that the installation environment can quickly become complex. Hitachi Rail employed a digital installation tool to increase process reliability. This tool systematically guides the technicians through all the relevant verification steps and documents the installation state. Additionally, every balise is also photographed: the image shows both the pre-marked reference point applied to the rail foot by the surveying team as well as the balise ID plate (NID-BG). This enables immediate visual confirmation that the balise has been installed at the correct position (fig. 3).

Bild 3: Montagebild aus digitalem Montagetool
Fig. 3: An installation photograph from the digital installation tool
Quelle / *Source*: Hitachi Rail

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

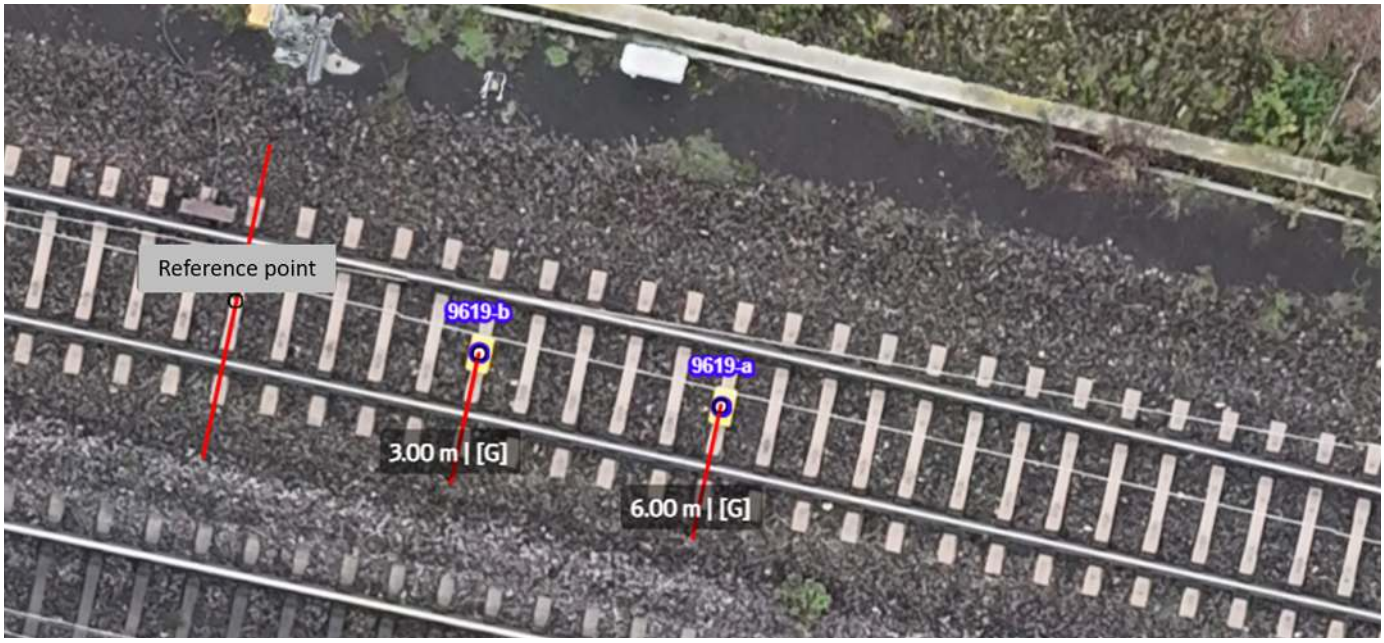


Bild 4: Importierte Datenpunkte in X2BIM
Fig. 4: Imported data points in X2BIM
Quelle / *Source*: X2BIM, D. Cramer

6.2 Dynamische Abnahme

Bei den Abnahmefahrten kam erstmals der Hitachi-eigene Erprobungsträger Lucy zum Einsatz (Bild 5) – ein umgebauter Triebwagen des Typs VT 420, der Hitachi Rail als mobile Testplattform zur Erprobung zukünftiger Technologien dient [13]. Ausgestattet mit einem ETCS-Fahrzeuggerät von Hitachi Rail konnten große Teile der erforderlichen Abnahmefahrten mit diesem Fahrzeug durchgeführt und erfolgreich abgeschlossen werden. Für die abschließenden Prüfungen, insbesondere, um die Forderung nach einer Fahrt mit maximal zulässiger Geschwindigkeit zu erfüllen [14], wurde ergänzend eine Siemens-Vectron eingesetzt.

6 Acceptance tests

6.1 Static acceptance

The X2BIM digital surveying method [12] was successfully piloted for the first time in the Oberlahnstein project so as to accelerate the acceptance process and reduce the on-site inspection effort. The entire route was captured using high-resolution drone-based aerial surveying and subsequently linked with the existing alignment data. Distances of over 300 m between reference points and balises could be measured digitally and validated with sufficient accuracy for acceptance based on this combined model.

Bild 5: Lucy vor dem Start der Abnahmefahrten in Rüdesheim
Fig. 5: Lucy prior to the start of the dynamic acceptance runs in Rüdesheim
Quelle / *Source*: N.-H. Staudt, Hitachi Rail

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

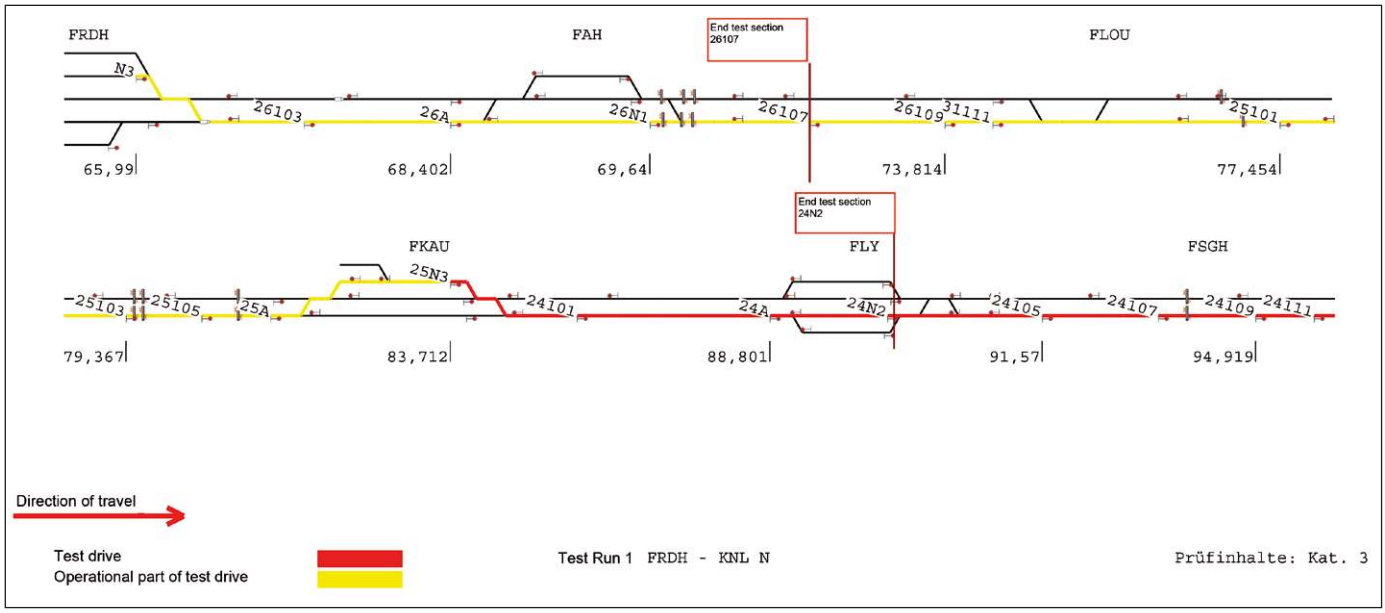


Bild 6: Spurplanbänder aus MakSi-Tool
Fig. 6: Track plan bands generated with the MakSi tool

Quelle / *Source*: DB InfraGO AG

Die Abnahmefahrten konnten innerhalb von dreieinhalb Fahrtagen durchgeführt werden. Die Planung und Strukturierung der Fahrwege sowie der zu prüfenden Elemente erfolgten digital mithilfe des MakSi-Tools (Bild 6). Die Fahrten fanden unter unterschiedlichen betrieblichen Rahmenbedingungen statt, darunter Fahrten im Bauschatten, während Totalsperrung, unter eingleisiger Sperrung sowie im Regelbetrieb mit umgeleitetem Güterverkehr auf die linke Rheinseite. Zusätzliche Einschränkungen entstanden durch insgesamt sieben Bahnübergänge, die mittels Bahnübergangsposten gesichert werden mussten.

Zur Begrenzung der örtlichen Ausdehnung des Abnahmeabschnitts und damit der Abnahmefahrten wurden temporäre Einwahldatenpunkte vom Typ 4 verlegt, um den mit dem Abnahmefahrzeug zu befahrenden Bereich auf ein Minimum zu reduzieren. Ziel war eine Aktualisierung der Prioritätenliste der Levelwahl der Vectron, welche mit SRS 3.4.0 ausgerüstet war und somit außerhalb eines L2-Bereichs kein Level 2 auswählbar ist. Dabei zeigte sich jedoch, dass ein manueller Funkaufbau via Start of Mission außerhalb des RBC-Bereichs über einen Typ 4 mit einer dem RBC unbekannten NID-BG nicht möglich ist, da das RBC die Verbindung umgehend wieder terminiert. Separate Funkaufbaubalisen (Typ 2) erwiesen sich in dieser Konstellation als zielführende Lösung.

Zur weiteren Reduzierung der Abnahmefahrten wurde in Abstimmung mit dem Richtlinienautor auf die Prüfung einzelner Datenpunkte Typ 1 mittels Abnahmefahrt verzichtet. Da diese ausschließlich die GSM-R-Netzeinwahl steuern und sich als erste und damit am weitesten vom Abnahmeabschnitt entfernter Balisen befinden, ist eine Überprüfung aller Fahrkonstellationen via Abnahmefahrt zwar technisch möglich, jedoch nicht erforderlich.

Im Bereich des Loreley- und des Roßsteintunnels zeigte sich während der Abnahmefahrten, dass der Streckenverlauf durch die eingleisige äußere Tunnelröhre im Bogen deutlich länger ist als der Verlauf der inneren Röhre. Diese Abweichung war in den PT1-Unterlagen der Bestandsstrecke nicht berücksichtigt, da sie im ESTW-Betrieb zu keinen funktionalen Einschränkungen führte. Im ETCS-System wirkte sich diese Differenz jedoch unmittelbar auf die Balisenlogik aus: In der äußeren Tunnelröhre war der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Balisen größer als

The digital surveying data provided by Hitachi Rail served as the basis for importing all the relevant location information directly into the X2BIM model (fig. 4). During verification, each balise could be uniquely identified in the captured imagery, thereby enabling precise confirmation of its correct positioning.

In addition to its immediate relevance for acceptance, the method also offers significant potential for future projects. X2BIM can already be used during PT1 and PT2 planning to verify planned installation locations with regard to construction feasibility and local constraints. This prevents later modification cycles and enables the generation of precise geocoordinates that can be submitted to the manufacturer so that the balises can be positioned with a high degree of accuracy during installation.

6.2 Dynamic acceptance

Hitachi Rail's own Lucy test vehicle, a modified VT 420 multiple unit, was deployed in dynamic testing for the first time (fig. 5) [13]. Equipped with a Hitachi Rail onboard unit, LUCY was able to perform the majority of the required dynamic acceptance runs successfully. An additional Siemens Vectron locomotive was used for final verifications, particularly those requiring a maximum permissible speed [14].

All the dynamic acceptance runs were completed within three and a half test days. The planning and structuring of the test routes and test items were conducted digitally using the Maksi tool (fig. 6). The test runs took place under various operating scenarios, including shadow-of-construction operations, full closures, single-track closures and regular traffic with diverted freight trains operating on the opposite side of the Rhine. Additional constraints were also imposed by seven level crossings that required staffing by crossing attendants.

Temporary Type 4 login balises were installed in order to reduce the spatial extent of the acceptance section, thereby restricting the area that needed to be traversed by the acceptance vehicle. The goal was to update the Level Selection Priorities in the Vectron, which cannot select Level 2 outside an active L2 RBC area as per SRS 3.4.0. It became evident, however, that a manual Start of Mission (SoM)-initiated radio session outside the RBC boundary via

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

in der PT1-Planung vorgegeben. Dies führte zu einer Zwangsbremsung des Fahrzeugs und wurde als Balisenlesefehler verzeichnet.
Zur Behebung dieses Problems wurden zusätzliche Gleiskanten sowie ein Kilometersprung eingefügt, um den realen Streckenverlauf korrekt abzubilden und die Plausibilitätsprüfungen im RBC sicherzustellen. Der Vorfall verdeutlicht die hohe Bedeutung von Abnahmefahrten, da die örtlichen Gegebenheiten häufig von den Planungsunterlagen abweichen und sich solche Differenzen erst im fahrdynamischen Testbetrieb offenbaren. Die eigentlichen Abnahmegegenstände wie End of Authority (EoA), Geschwindigkeiten oder Einstiege verursachen dabei selten relevante Mängel.

7 Inbetriebnahme

In Oberlahnstein war kurz vor IBN des ETCS-Systems ein ESTW-Update erforderlich, das unmittelbar vor der IBN eingespielt wurde. Nachdem auch diese Anpassung reibungslos verlief, konnte das ETCS-System am 13. Dezember 2025 erfolgreich in Betrieb gehen. Zwischen dem 14. Dezember 2025 und dem 14. Januar 2026 verkehrten insgesamt 158 ETCS-geführte Züge des DB Fernverkehr sowie von Cargo-Eisenbahnverkehrsunternehmen auf der Strecke. In der aktuellen Betriebsphase nutzen etwa sechs ETCS-geführte Züge pro Tag die Strecke. Nennenswerte Vorkommnisse oder Komplikationen wurden seit der IBN nicht festgestellt.

8 Fazit und Ausblick

Die reibungslose IBN sowie die hohe Anzahl an Zugfahrten zeigen, dass das ETCS-System bereits im aktuellen Entwicklungsstand zuverlässig betrieben werden kann. Gleichzeitig wurde ersichtlich, dass die im Vorgängerprojekt gewonnenen Erfahrungen erfolgreich in das Projekt „RBC Oberlahnstein Süd" eingeflossen sind und erste Optimierungen umgesetzt wurden. Dennoch wurden in vielen Bereichen weitere Potenziale zur Prozessvereinfachung und Qualitätssteigerung erkennbar.
Ein wesentlicher Ansatzpunkt ist die durchgängige Digitalisierung der Planungsprozesse. So sollten die einzelnen Bestandteile der PT1-Planung, etwa die Datenpunkttabelle, der Übersichtsplan oder die MuKa-Signale, stärker miteinander verknüpft werden. Werden Änderungen in einem Dokument automatisch auf alle abhängigen Planungsteile übertragen, lassen sich Konsistenzprobleme vermeiden, erneute PT1-Durchläufe reduzieren und Rückfragen deutlich verringern.
Eine weitere große Effizienzsteigerung könnte durch die konsequente Nutzung vollständig digitaler Planunterlagen, beispielsweise im PlanPro-Format, erzielt werden. Obwohl diese derzeit aus verschiedenen Gründen nur eingeschränkt verfügbar sind, ermöglichen sie ein hohes Maß an Automatisierung: Zahlreiche PT1-Vorgaben könnten über standardisierte Importfunktionen innerhalb weniger Sekunden in PT2-Unterlagen überführt werden. Dies führt nicht nur zu erheblichen Zeit- und Kosteneinsparungen, sondern reduziert auch die Fehleranfälligkeit erheblich.
Ein zusätzlicher Ansatz zur Verschlankung des Planungsprozesses betrifft die Aufteilung der PT1-Planung für die ETCS-Zentrale in mehrere, den jeweiligen ESTW-A zugeordnete Teilplanungen. Diese Modularisierung soll bereits in kommenden Baustufen am rechten Rheinufer realisiert werden. Durch die verkleinerten Dokumentumfänge lassen sich Prüfprozesse beschleunigen, Änderungsschleifen verkürzen und Vorgänge parallelisieren. Auch Teile der PT2-Unterlagen können analog unterteilt werden, was weitere Zeitgewinne verspricht.

a Type 4 balise with an NID-BG unknown to the RBC is not possible, as the RBC immediately terminates the session. Dedicated Type 2 radio-initiation balises proved to be the only effective solution.
The validation of certain Type 1 balises via dynamic testing was waived in order to further reduce the number of test runs and in agreement with the guideline author. Since these balises only manage GSM-R network routing and are the first in the sequence, and therefore farthest from the acceptance section, an acceptance run is technically feasible but not required.
During the acceptance runs in the Lorelei and Roßstein tunnels, it became clear that the alignment through the outer single-track tunnel tube is significantly longer than in the inner tube due to the curvature. This discrepancy had not been reflected in the PT1 documentation of the legacy line, as it had no functional significance for ESTW operations. In ETCS, however, the difference immediately affected the balise logic: the distance between two consecutive balises in the outer tube exceeded the PT1 specification. This triggered emergency braking and the event was logged as a balise reading error.
In order to correct this, additional track edges and a kilometre jump were introduced so as to map the actual alignment accurately and ensure correct RBC plausibility checks.
This incident highlights the critical importance of dynamic acceptance runs, as real-world conditions often differ from the planning data and such deviations only become apparent during live operational testing. Actual functional parameters such as End of Authority (EoA), speeds or entry points rarely cause significant issues; rather, it is these physical-alignment discrepancies that tend to surface during testing.

7 Commissioning

As in previous projects, a further ESTW software update was required shortly before the ETCS L2 commissioning in Oberlahnstein. This update was installed immediately ahead of the commissioning weekend and was completed without any complications. As a result, the ETCS system was successfully commissioned on 13 December 2025.
Between 14 December 2025 and 14 January 2026, a total of 158 ETCS-operated trains, consisting of DB long-distance services and various freight operators, passed through the newly equipped section. Approximately six ETCS-operated trains use the line every day in the current operating phase. No significant incidents or operating irregularities have been recorded since the system went live.

8 Conclusion and outlook

The smooth commissioning and the high number of ETCS-operated train movements demonstrate that the system can already be operated reliably at its current maturity level. At the same time, the project clearly shows that the lessons learned from the preceding Rhine Valley line project have been successfully transferred into the Oberlahnstein project and that initial optimisations have already been realised. Nevertheless, further potential for procedural streamlining and quality improvements have become visible across many disciplines.
A key lever lies in the consistent digitalisation of the planning processes. PT1 components, such as the data-point table, overview plans or MuKa signal lists, should be more closely integrated. Consistency issues can be avoided, the number of PT1 iterations can be

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Herausfordernd bleibt jedoch die Sicherstellung der Konsistenz zwischen den verschiedenen PT1-Teilplanungen, da diese an zahlreichen Schnittstellen miteinander verbunden sind. Zudem bedarf es klar definierter Absprachen zum Umgang mit streckenweit geltenden Planungselementen, wie den statischen Streckeneigenschaften, die zentral gepflegt und für alle Teilplanungen synchronisiert werden müssen.
Weitere Verbesserungen können in der Nutzung digitaler Tools, wie dem hier beschriebenen X2BIM oder Montagetool, liegen. Auch sollte durch Prozesseinhaltung und Wissensaufbau die Qualität der Unterlagen und Software beibehalten werden, um Änderungsschleifen in späten Projektstadien zu vermeiden.
Insgesamt zeigt sich: Das System ist betriebstauglich, und die Projekte generieren wertvolle Erkenntnisse für zukünftige Ausrüstungen. Gleichzeitig eröffnen digitalisierte Prozesse und modulare Planungsansätze signifikante Potenziale, um zukünftige IBN von ETCS L2 schneller, ressourcenschonender und qualitativ robuster umzusetzen. ■

reduced and the volume of clarification requests can be significantly minimised if the changes in one document are automatically propagated to all the dependent planning artefacts.
A further major efficiency gain could be achieved through the broader utilisation of fully digital planning documents, such as PlanPro-based data. Although these are currently only partially available for various reasons, there is room for substantial automation: many PT1 specifications could be transferred into PT2 documents within seconds using standardised import functions. This would not only save considerable time and cost but also significantly reduce error susceptibility.
Another promising approach involves the modularisation of PT1 planning for the ETCS-RBC by dividing the documentation into several sub-packages aligned with the respective ESTW-A areas. This modular structure is planned for upcoming construction phases along the right-hand bank of the Rhine. Smaller document sets accelerate reviews, shorten amendment cycles and allow parallel processing. Portions of the PT2 documentation may be structured similarly, thereby offering additional time savings. The main challenge will be ensuring consistency across all the PT1 sub-packages, as they remain interconnected through numerous interfaces. Clear agreements will be required for handling planning elements that apply across the entire route, such as static line characteristics, which must be centrally maintained and synchronised for all the sub-packages.
Further improvements can be achieved by consistently employing digital tools, such as X2BIM or the digital installation tool described earlier. In addition, maintaining strong procedural discipline and continuous knowledge development will also help ensure high-quality planning documents and software, thereby reducing the likelihood of late-stage amendment cycles.
Overall, the project has demonstrated that the ETCS L2 system is fully fit for operational deployment and that current projects are generating valuable insights for future upgrades. At the same time, digitalised workflows and modular planning approaches offer significant potential to deliver upcoming ETCS L2 commissioning projects faster, more resource-efficiently and with enhanced robustness. ■

LITERATUR | LITERATURE

[1] DB InfraGO AG, „Digitale Schiene Deutschland," Deutsche Bahn, 17.12.2025. [Online]. Available: https://digitale-schiene-deutschland.de/de/aktuelles/2025/etcs-am-rhein. [Zugriff am 19.01.2026]
[2] Eisele, W.; Zills, M.; Pich, F.; Helwig, M.; Schuler, A.; Eftekhari, M.: „Realisierung und Inbetriebnahme ETCS L2 Freiburg-Basel", EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 01/2026, pp. 8-14
[3] DB InfraGO AG, 819.1344-W-101A2, 2023
[4] UNISIG, Dimensioning and Engineering rules Subset 040, 07.04.2009
[5] E. E. U. Group, „ENGINEERING GUIDELINE – 28. Gradient segmentation," 2024-06-28
[6] „Sicherheitsaudit Balisen Programmierung und Validierung (internes unveröffentlichtes Dokument)," 2025
[7] Hitachi Rail, „Nachweiskonzept Rueckwirkungsfreiheit neuer Technik ETCS L2 Strecke ab DB 3.3 (internes unveröffentlichtes Dokument)," 2024
[8] „02-03-05-02-01-W-103 – Zudeckungsbedarf für Datenpunkte ETCS L2 während Baumaßnahmen," DB InfraGO AG, 01.09.2025
[9] DB E.C.O. Group, „Datenplattform X2BIM," 2026. [Online]. Available: https://db-eco.com/de/insights/uas-unmanned-aircraft-systems/datenplattform-x2bim/. [Zugriff am 08.032026]
[10] DB InfraGO AG, „Moving Block Demonstrator," [Online]. Available: https://digitale-schiene-deutschland.de/de/projekte/Moving-Block-Demonstrator. [Zugriff am 03.08.2025]
[11] DB InfraGO AG, „ 892.9248-W-101 Arbeitsinformationen für die Abnahme von Streckenkomponenten ETCS Level 2 Baseline 3," 20.09.2023
[12] Lastenheft ETCS – Betrieblich-technische Systemfunktionen für ETCS SRS Baseline 3 –, Baseline: 6.5 (V 3.0), ID .2998: Nicht im Linking enthaltene Balisen werden als maskiert bezeichnet.
[13] Bolay, J.: Haltfallbewertung unter ETCS, Dresden: Technische Universität Dresden, 2023
[14] Spang, F.: „System Bahn," [Online]. Available: https://www.system-bahn.net/archiv/etcs-bedienoberflaeche-fuer-fahrdienstleiter/. [Zugriff am 08.03.2026]
[15] Kümmling, M.: „stellwerke.info," [Online]. Available: https://stellwerke.info/artikel/34-bauformen/115-elektronisches-stellwerk-estw-l90. [Zugriff am 08.03.2026]

AUTOREN | AUTHORS

Nils-Hagen Staudt, M. Sc.
Projektleitung ETCS L2 & ESTW / *Project Manager ETCS L2 & ESTW*
Hitachi Rail
Anschrift / *Address*: Thalesplatz 1, D-71254 Ditzingen
E-Mail: nils-hagen.staudt@hitachirail.com

Daniel Cramer, M. Sc.
Senior Projektingenieur ETCS / *Senior Project Engineer ETCS*
DB InfraGO AG
Anschrift / *Address*: Adam-Riese-Straße 11-13, D-60327 Frankfurt am Main
E-Mail: daniel.da.cramer@deutschebahn.com

Wilko Eisele, M. Sc.
Leiter Inbetriebnahmesteuerung ETCS Korridor Rhine-Alpine / *Head of Commissioning Control ETCS Corridor Rhine-Alpine*
DB InfraGO AG
Anschrift / *Address*: Adam-Riese-Straße 11-13, 60327 Frankfurt am Main
E-Mail: wilko.eisele@deutschebahn.com

Alexander Schuler, B. Eng.
Experte Inbetriebnahme ETCS / *ETCS Commissioning Expert*
DB InfraGO AG
Anschrift / *Address*: Adam-Riese-Straße 11-13, 60327 Frankfurt am Main
E-Mail: alexander.a.schuler@deutschebahn.com

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Innovatives System zur Optimierung der Bahnübergangsperrzeiten

An innovative system for optimising level crossing closure times

Peter Bachmann | Bernhard Diethelm | Guido Schmid

Bei der Modernisierung der BLS-Strecke Bern – Schwarzenburg mit European Train Control System Level 2 (ETCS L2) stellt die hohe Anzahl an Bahnübergängen eine große Herausforderung dar. Die tendenziell flacheren Bremskurven von ETCS L2 könnten zu längeren Sperrzeiten führen und die Akzeptanz beim Individualverkehr gefährden. Als Lösung entwickelt Siemens ein innovatives System zur dynamischen Steuerung der Bahnübergänge. Anstatt statischer Einschaltpunkte nutzt das System Echtzeit-Daten aus dem ETCS-System (z. B. exakte Position und Geschwindigkeit der Züge) sowie Fahrplaninformationen, um eine kontinuierliche Prognose der Zugbewegungen zu erstellen.

1 Projektbeschreibung

Die BLS AG hat Siemens Mobility mit der Modernisierung der Sicherungsanlagen auf der Strecke Bern-Fischermätteli – Schwarzenburg beauftragt. Ziel ist die Implementierung von ETCS L2 ohne optische Signale für Zugfahrstraßen. Die technische Umsetzung erfolgt mittels eines Simis W CH Stellwerks in Kombination mit dem Trainguard 200 RBC. Zum Lieferumfang gehört zudem die Leittechnik Iltis Netz, die eine integrierte Bedienung und Anzeige sowohl des Stellwerks als auch des Radio Block Centre (RBC) ermöglicht. Die automatische Einstellung von Zugfahrstraßen sowie das Schließen und Tiefhalten von Bahnübergängen wird durch den in Iltis integrierten Stellwerkautomaten realisiert.

2 Streckenprofil und Herausforderungen

Die eingleisige Strecke verläuft von einem urbanen Gebiet in Bern durch ländliche Abschnitte bis zum Kopfbahnhof Schwarzenburg. Sie umfasst die Kreuzungsstationen Köniz, Gasel, Niederscherli und Mittelhäusern. Eine besondere Herausforderung stellen die 26 Bahnübergänge auf der lediglich 17 km langen Strecke dar. Hier gilt es, den Zielkonflikt zwischen möglichst kurzen Sperrzeiten für den Individualverkehr und minimalen Auswirkungen auf die Kapazität des Bahnverkehrs zu lösen. Die tendenziell flacheren Bremskurven bei ETCS L2 könnten potenziell zu früheren Einschaltzeiten und somit längeren Sperrzeiten der Bahnübergänge führen.

3 Potenziale von ETCS L2 für Bahnübergänge

ETCS L2 bietet jedoch auch erhebliche Vorteile, insbesondere durch die präzisere Zugortung und die Verfügbarkeit erweiterter Zuglenkdaten, die im Betrieb mit ETCS L0 oder L1 nicht gegeben sind. Um die positiven Auswirkungen dieser Informationen auf die Sperrzeiten zu verdeutlichen, ist ein kurzer Exkurs in das aktuelle Konzept

The high number of level crossings presents a major challenge during the modernisation of the BLS line Bern – Schwarzenburg with European Train Control System Level 2 (ETCS L2). The generally flatter braking curves associated with ETCS L2 can lead to longer closure times at level crossings, thereby potentially jeopardising acceptance by individual transport. Siemens is developing an innovative, dynamic level crossing control system in order to address this challenge. Instead of relying on static activation points, the system makes use of real time data provided by the ETCS system (e.g. the train's precise position and speed) as well as timetable information so as to continuously generate train movement predictions.

1 Project description

BLS AG has commissioned Siemens Mobility to modernise the signalling systems on the Bern Fischermätteli – Schwarzenburg line. The objective is to implement ETCS L2 without any optical signals for train routes. The technical solution is based on a Simis W CH interlocking system in combination with the Trainguard 200 RBC. The scope of delivery also includes the Iltis Netz train control system, which enables the integrated operation and visualisation of both the interlocking and the Radio Block Centre (RBC). The automatic train route setting and level crossing activation and closure is realised by the Automatic Route Setting function integrated into Iltis.

2 Line characteristics and challenges

The single track line runs from an urban area in Bern through rural sections to the terminal station at Schwarzenburg. It includes the Köniz, Gasel, Niederscherli and Mittelhäusern crossing stations. A particular challenge is posed by the 26 level crossings distributed along a line of only 17 km. The key objective is to resolve the conflict between minimising closure times for road traffic and maintaining railway capacity. The generally flatter braking curves under ETCS L2 may potentially lead to earlier activation and hence longer closure times at level crossings.

3 The potential of ETCS L2 for level crossings

ETCS L2 also offers significant advantages, particularly due to more precise train localisation and the availability of extended train data that is not available under ETCS L0 or L1. A brief

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

der Bahnübergangseinschaltung und -tiefhaltung auf optisch signalisierten Strecken notwendig.

4 Heutige Praxis der Bahnübergangssicherung in der Schweiz

In der Schweiz sind die meisten Bahnübergänge in Fahrstraßen integriert und werden in der Fahrtstellung von Hauptsignalen überwacht. Ein Signal schaltet erst auf Fahrt, wenn alle Bahnübergänge innerhalb der Fahrstraße als geschlossen gemeldet werden. Bei einem Störungsfall des Bahnübergangs wird das Signal durch das Stellwerk wieder auf Halt gestellt.
Auf der Strecke werden die Bahnübergänge teilweise anstelle mit den Hauptsignalen mit sogenannten Kontrolllichtern überwacht. Diese Kontrolllichter befinden sich in Bremswegdistanz zum Bahnübergang und haben keine Vorsignale (Bild 1). Die Bremswegdistanz muss dabei auf die Zugkategorie mit dem schlechtesten Bremsvermögen der jeweiligen Strecke ausgelegt werden. Die Einschaltung des Bahnübergangs muss jedoch auf den schnellsten Zug ausgelegt sein, damit diese Züge nicht unnötig gebremst werden. Gemäß aktuellem Regelwerk muss der Bahnübergang spätestens 6 Sekunden vor der Vorbeifahrt am Kontrolllicht geschlossen sein. Die Schließzeit des Bahnübergangs wird maßgeblich von der erforderlichen Vorblinkzeit und, falls vorhanden, der Schrankenschließzeit beeinflusst.
Bei in Fahrstraßen kontrollierten Bahnübergängen gelten analoge Prinzipien, wobei hier der Standort des Vorsignals maßgebend ist. Dieses muss mindestens in Bremswegdistanz zum Hauptsignal positioniert sein, welches den Bahnübergang überwacht (Bild 2). Oft ist diese Distanz größer als erforderlich, da die Vorsignalfunktion durch das rückliegende Hauptsignal übernommen wird oder das Vorsignal aus baulichen Gründen am gleichen Standort wie das rückliegende Hauptsignal angebracht ist. Zudem befindet sich das den Bahnübergang überwachende Hauptsignal häufig relativ weit vom Bahnübergang entfernt, da die Platzierung der Hauptsignale vielen unterschiedlichen Anforderungen genügen muss und die Distanz zum Bahnübergang eine untergeordnete Rolle spielt. Eine weitere Komplexität entsteht, wenn mehrere Bahnübergänge in einer Fahrstraße und somit mit einem einzigen Hauptsignal überwacht werden. Dies

overview of the current concept for level crossing activation and closure on optically signalled lines is required so as to illustrate the positive impact of this information on level crossing closure times.

4 Current level crossing protection practice in Switzerland

In Switzerland, most level crossings are integrated into train routes and monitored by main signals in their proceed aspect. A signal can only clear if all the level crossings within the associated route have been reported as closed. In the event of a level crossing failure, the interlocking resets the signal to stop.
On open line sections, some level crossings are monitored using so called control signals instead of main signals. These control lights are located at a braking distance from the level crossing and do not have any distant signals (fig. 1). This braking distance must be dimensioned for the train category with the poorest braking performance on the line. At the same time, the level crossing activation must be designed for the fastest trains so as to avoid any unnecessary braking. According to current regulations, the level crossing must have been fully closed for at least six seconds before the train passes the control light. The closure time is mainly influenced by the required warning time and, where present, the barrier lowering time.
Analogous principles apply for level crossings monitored as part of a train route with the position of the distant signal being decisive. The distant signal must be located at least at the braking distance from the main signal protecting the level crossing (fig. 2). In practice, this distance is often larger than necessary, for example in cases where the distant signal function is provided by the upstream main signal or where structural constraints require co-locating the distant and main signals. Moreover, the main signal protecting the level crossing is often located relatively far from the crossing itself, as the main signal placement must also satisfy numerous other requirements with the distance to the level crossing being of secondary importance. Additional complexity arises when several level crossings are in-

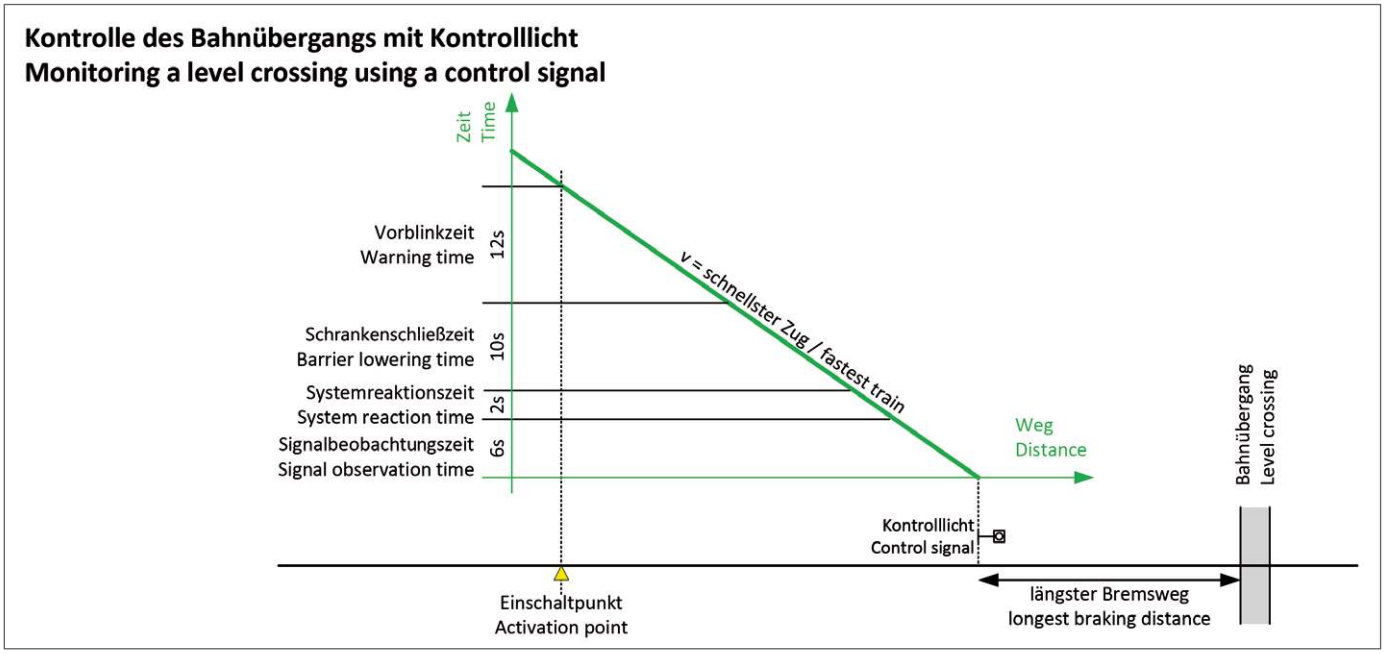


Bild 1: Kontrolle des Bahnübergangs mit Kontrolllicht
Fig. 1: Level crossing protection using a control light

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

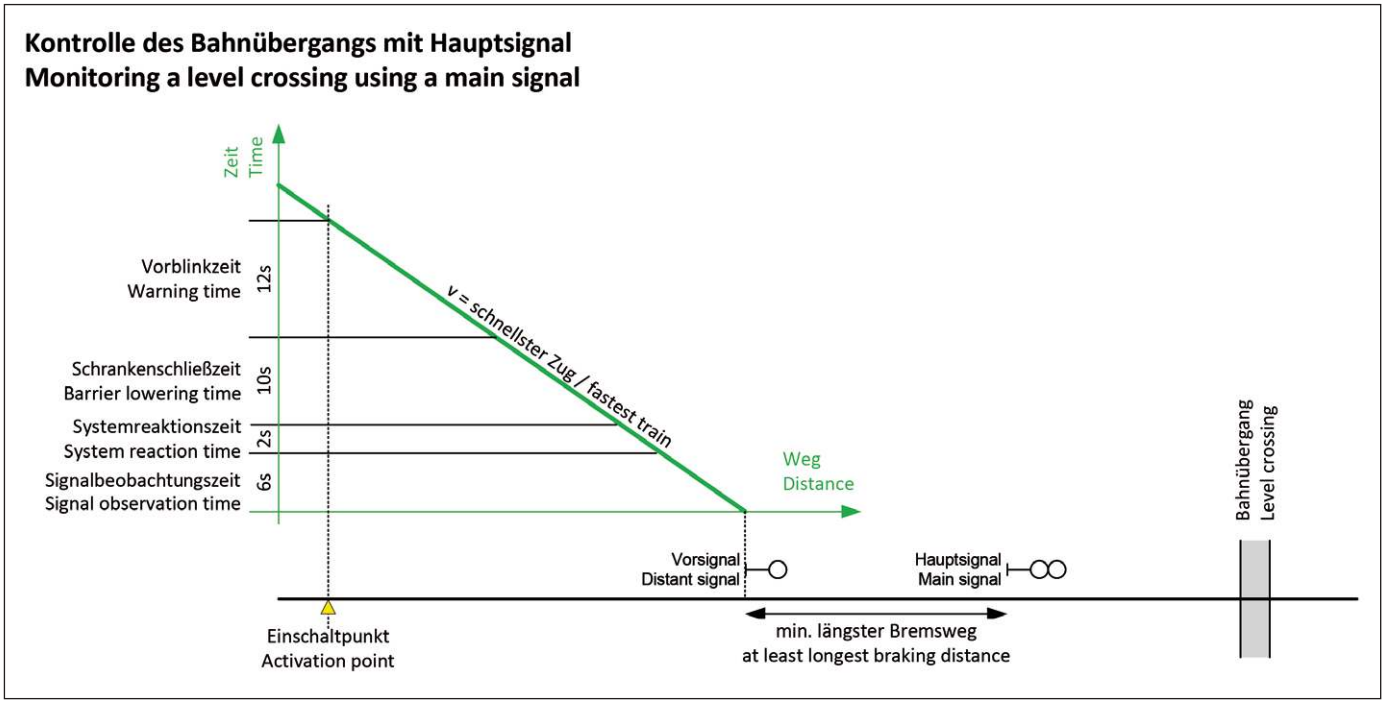


Bild 2: Überwachung des Bahnübergangs mit Hauptsignal
Fig. 2: Level crossing protection using a main signal

wirkt sich insbesondere negativ auf die Sperrzeiten der weiter vom Hauptsignal entfernten Bahnübergänge aus. Diese Umstände führen dazu, dass Bahnübergänge, insbesondere auf Strecken mit heterogenem Verkehr (Güterzüge, S-Bahnen, Neigezüge), oft zu früh eingeschaltet werden müssen, was zu langen Wartezeiten für den Individualverkehr führt.

5 Entwicklung der Bahnübergangseinschaltung auf optisch signalisierten Strecken

Die Aktivierung von Bahnübergängen auf optisch signalisierten Strecken variiert je nach Stellwerksgeneration. In Relaisstellwerken erfolgte und erfolgt teilweise noch heute die Einschaltung der Bahnübergänge statisch mittels Schienenkontakte oder durch Relaisschaltungen in Verbindung mit Zeitrelais. Der Aktivierungszeitpunkt eines Bahnübergangs triggert dann häufig auch die automatische Einstellung der zugehörigen Zugfahrstraße.
In der Schweiz wurden bereits früh speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) für die Stellwerksautomatisierung eingesetzt. Diese übernehmen neben der zeitgerechten Einstellung von Zugfahrstraßen auch die Einschaltung und Tiefhaltung der Bahnübergänge. Solche Steuerungen verfügen stets über eine Schnittstelle zur Zuglenkung, um die Informationen über den geplanten Fahrweg zu erhalten und zwischen durchfahrenden und haltenden Zügen in einer Station unterscheiden zu können. Ein weiterer Vorteil dieser Systeme ist ihre hohe Programmierflexibilität, die es ermöglicht, mit nahezu beliebig vielen individuell einstellbaren Zeitgliedern die Sperrzeiten der Bahnübergänge maximal zu reduzieren.
Bei modernen elektronischen Stellwerken wurde die Funktion der Stellwerksautomatik vollständig in die Leittechnik integriert.

6 Potenzial auf ETCS-L2-Strecken

Einige der genannten Nachteile der optischen Signalisierung können mit ETCS L2 effizient eliminiert werden. Beispielsweise können

cluded in a single route and monitored by one main signal. This particularly affects the closure times of crossings located further away from the signal.
These circumstances frequently result in level crossings being activated too early and causing long waiting times for individual transport, especially on lines with mixed traffic (freight trains, suburban services and tilting trains).

5 The evolution of level crossing activation on optically signalled lines

The activation of level crossings on optically signalled lines varies depending on the interlocking generation. In relay interlockings, the level crossings were, and in some cases still are, activated statically using a rail treadle or relay logic combined with time relays. The activation of a level crossing often also triggered the automatic setting of the associated train route.
In Switzerland, programmable logic controllers (PLCs) were introduced early on for interlocking automation. In addition to the timely setting of train routes, these systems also activate the level crossings and keep them closed. Such controllers are always interfaced with the train control system, thereby enabling them to receive information on the planned path and distinguish between stopping and non stopping trains. A further advantage of these systems lies in their high configurability that allows closure times to be minimised using many individually adjustable timing functions.
In modern electronic interlockings, the interlocking automation function is fully integrated into the train control system.

6 The potential on ETCS L2 lines

Several of the disadvantages of optical signalling can be efficiently eliminated with ETCS L2. For example, additional Stop Marker Boards (SMBs) can be installed close to level crossings

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

zusätzliche Stop Marker Boards (SMB) mit relativ geringem Aufwand nahe an den Bahnübergängen aufgestellt werden, ohne dass deren Standort Rücksicht auf Bremswege nehmen muss. Zudem kann jeder Bahnübergang pro Fahrtrichtung mit einem eigenen SMB ausgerüstet werden.

Die Faktoren Vorblinkzeit, Schrankenschließzeit und Systemreaktionszeit bleiben auch im L2-Bereich gleich und können nicht reduziert werden (Bild 3). Als maßgebender Faktor kommt hier die Indication Curve hinzu, die stark vom Bremsvermögen des Zuges abhängt. Diese ersetzt im Wesentlichen den Bremsweg bei der Bestimmung des Einschaltpunktes des Bahnübergangs. Der Bahnübergang muss spätestens geschlossen sein, bevor die in der On-Board Unit (OBU) berechnete Indication Curve erreicht wird, um ein unnötiges Bremsen des Zuges zu vermeiden.

Die Beobachtungszeit des Deckungssignals entfällt bei ETCS L2. Sie muss jedoch durch eine Ergonomiezeit ersetzt werden, um dem Triebfahrzeugführer eine ergonomische Streckenbefahrung zu ermöglichen. Die genaue Definition dieser Zeit steht noch aus.

Wenn man nun die Einschaltpunkte der Bahnübergänge immer noch statisch auf die Zugkategorie mit dem schlechtesten Bremsvermögen und somit der flachsten Bremskurve auslegen würde, wären die Bahnübergänge für viele andere Züge immer viel zu früh geschlossen. Daher entwickelt Siemens Mobility derzeit ein System, welches als Basic Integrity System die Einschaltzeitpunkte und Tiefhaltebedingungen der Bahnübergänge dynamisch, basierend auf der aktuellen Betriebslage, dem Fahrplan und den von den OBU gemeldeten Informationen berechnet.

7 Optimierung der Bahnübergangssperrzeiten mit AdmiRail Train Process Optimizer

7.1 ETCS L2 als Herausforderung und Lösung

Wie im ersten Teil dieses Beitrags beschrieben, liefert Siemens Mobility der BLS auf der Strecke Bern-Fischermätteli – Schwarzenburg ein hochmodernes ETCS-L2-System. ETCS L2 löst einen Teil der oben beschriebenen Probleme durch das Wegfallen der Bremswegabwith relatively little effort and without the need to consider the braking distances. Furthermore, each level crossing can also be equipped with its own SMB for each direction of travel.

The warning time, barrier lowering time and system reaction time remain unchanged under ETCS L2 and cannot be reduced (fig. 3). A new decisive factor is the indication curve, which strongly depends on the train's braking performance. This curve essentially replaces the braking distance in determining the level crossing activation point. The level crossing must be fully closed before the indication curve calculated in the On Board Unit (OBU) is reached so as to prevent any unnecessary braking in the train.

The protecting signal's observation time is no longer applicable under ETCS L2. However, it must be replaced with an ergonomics time so as to ensure ergonomic train operation by the driver. The exact definition of this time is still pending.

If the activation points were still statically designed for the train category with the poorest braking performance, and hence the flattest braking curve, the level crossings would close far too early for many trains. Siemens Mobility is therefore developing a Basic Integrity system which dynamically calculates the activation times and maintains the activated conditions for level crossings based on the current operating situation, the timetable and the data reported by the OBUs.

7 Optimising level crossing closure times with the AdmiRail Train Process Optimizer

7.1 ETCS L2 as a challenge and an opportunity

As described in the first part of this article, Siemens Mobility is supplying a state of the art ETCS L2 system for the BLS Bern-Fischermätteli – Schwarzenburg line. ETCS L2 resolves part of the previously described issues by eliminating the braking-distance based signal locations, but at the same time introduces a degree of degradation due to the higher safety margins in the braking curves. This represents a particularly critical issue on a

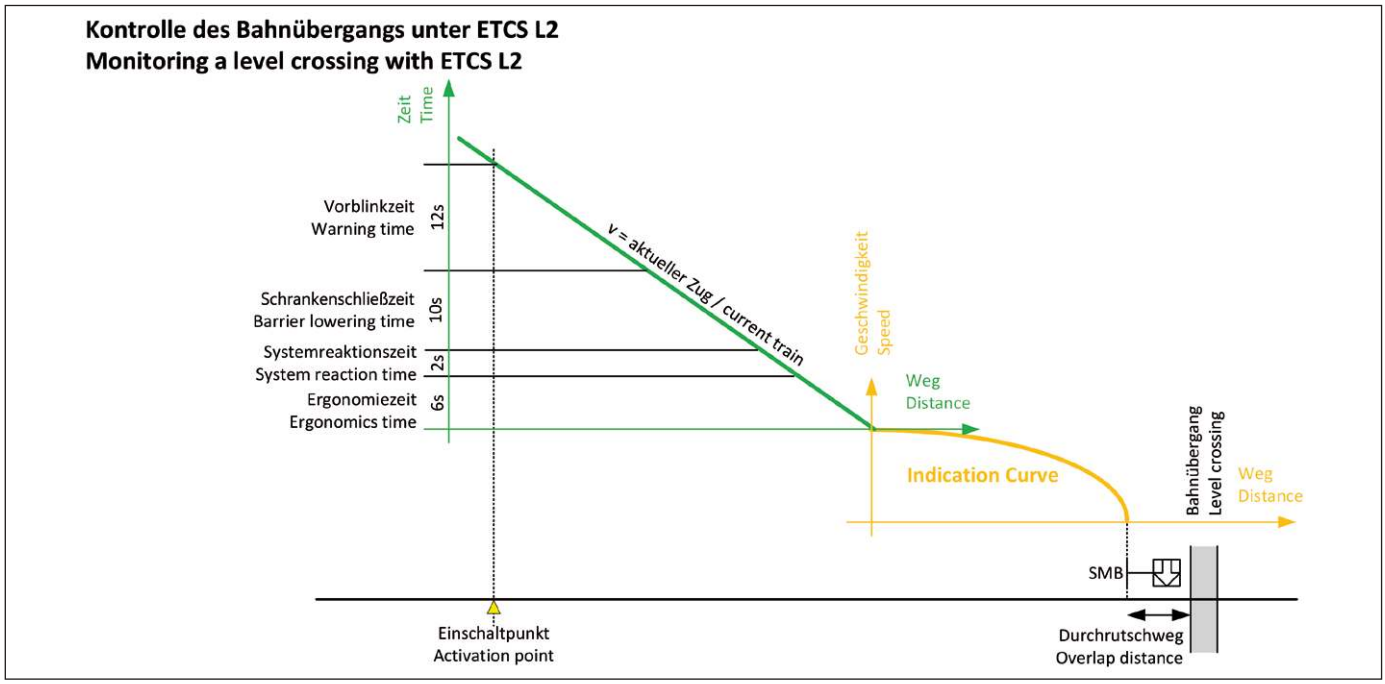


Bild 3: Überwachung des Bahnübergangs unter ETCS L2
Fig. 3: Level crossing protection in ETCS L2

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

hängigkeit auf die Signalstandorte, bringt jedoch mit den höheren Sicherheitsmargen bei den Bremskurven gleichzeitig eine gewisse Verschlechterung. Auf einer Strecke mit 26 Bahnübergängen auf nur 17 km Länge ein hochbrisantes Thema, denn die Akzeptanz eines neuen Bahnsystems hängt wesentlich auch davon ab, wie effizient Behinderungen für den Individualverkehr reduziert werden können. Genau hier setzt die neue innovative Lösung AdmiRail Train Process Optimizer (TPO) von Siemens Mobility an.

Kern des Ansatzes ist die softwareseitige Abbildung des aktuellen Betriebszustands und darauf aufbauend die fortlaufende Prognose der weiteren Zugbewegungen. ETCS L2 stellt hierfür eine Vielzahl von Echtzeitdaten bereit, insbesondere vom fahrenden Zug. Die Software ermittelt kontinuierlich präzise Angaben zu Position und Geschwindigkeit, und zusammen mit den aktuellen Fahrplaninformationen entsteht so eine verlässliche Datengrundlage, aus der sich die künftige Entwicklung des Betriebs und Prognose der Zugbewegungen zuverlässig berechnen lässt.

7.2 Prognose und Optimierung

Auf Basis des aktuellen Betriebszustandes und der Prognose können die optimalen Einschaltzeiten der Bahnübergänge vorhergesagt sowie situativ angepasst werden, unabhängig von einem statischen Einschaltpunkt und damit präziser und flexibler, als dies mit herkömmlichen Verfahren möglich ist. Durch diese Automatisierung kann jeder Bahnübergang in jeder Betriebssituation optimal angesteuert werden. Das gilt sowohl für reguläre Fahrplankonstellationen als auch in Echtzeit bei Verspätungen oder abweichenden Zugfolgen. Ebenso werden die Abfahrzeiten aus dem Fahrplan, minimale Haltezeiten pro Halt sowie Durchfahrten ohne Halt berücksichtigt.

Die Prognose berechnet für einen Zug den Zeitpunkt t_{sig}, zu welchem die Fahrstraße über einen Bahnübergang signalisiert sein muss, damit der Zug nicht in seine Indication Curve fährt. Für diese Berechnung wird die ETCS Indication Curve der relevanten Zugkategorie verwendet. Zieht man von t_{sig} die Schließzeit Δt_{close} (welche die zuvor erwähnte Vorblinkzeit, Schrankenschließzeit, Systemreaktionszeit und Ergonomiezeit im L2-Bereich enthält) des Bahnübergangs ab, erhält man den Anstoßzeitpunkt $t_{trigger} = t_{sig} - \Delta t_{close}$, zu welchem der Schließprozess des Bahnübergangs gestartet werden muss. Der Anstoßzeitpunkt wird für jeden Zug und jeden Bahnübergang separat berechnet, auch wenn eine Fahrstraße mehrere Bahnübergänge enthält. Damit werden Bahnübergänge mit kürzeren Warn- und Schließzeiten automatisch später angesteuert, und der Individualverkehr wird weniger lang behindert. Um dies zu ermöglichen, muss das Einstellen einer Fahrstraße von der Schließung der Bahnschranke im Leitsystem voneinander entkoppelt werden. Die Movement Authority (MA) für diese Fahrstraße wird jedoch weiterhin erst erteilt, wenn alle Bahnübergänge innerhalb der Fahrstraße geschlossen sind.

Die Prognose berechnet für einen Zug ebenfalls den Zeitpunkt t_{free}, zu welchem der Gleisfreimeldeabschnitt eines Bahnübergangs freigefahren ist und die Schranke wieder öffnen kann. Ist die Dauer zwischen Öffnen der Schranke und dem nächsten Anstoß zu klein, d. h. $t_{1,free} + \Delta t_{opening} + \Delta t_{minOpen} > t_{2,trigger}$, dann wird der Bahnübergang mittels Tiefhaltung geschlossen gehalten. Dabei ist $\Delta t_{opening}$ die Dauer, bis die Schranke geöffnet ist und $\Delta t_{minOpen}$ die projektierbare minimale Offenhaltezeit eines Bahnübergangs. Ein konkretes Beispiel dazu zeigen Bild 4 und die Beschreibung im folgenden Abschnitt. Die Berechnung der Tiefhaltung beruht im Gegensatz zu den klassischen Lösungen ebenfalls auf den dynamischen Daten und eliminiert den Nachteil der Anstoßpunktauslegung basierend auf den schnellsten Zügen, die auf dieser Strecke fahren. Unnötig lange Tiefhaltungen können so vermieden werden.

line with 26 level crossings over just 17 km, as the acceptance of a new rail system strongly depends on the efficient reduction of any disruptions to individual traffic. This is precisely where the innovative AdmiRail Train Process Optimizer (TPO) solution from Siemens Mobility comes into play.

The core concept is the software based representation of the current operating state and the continuous prediction of future train movements. ETCS L2 provides a wide range of real time data, particularly on train movements. The software continuously determines the precise position and speed data, which, when combined with current timetable information, forms a reliable basis for accurately predicting train movements.

7.2 Prediction and optimisation

The optimal activation times for level crossings can be calculated and dynamically adjusted based on the current operating state and the prediction. This can be done independently of any static activation points and with greater precision and flexibility than conventional methods. This automation enables each level crossing to be optimally controlled under all operating conditions, both in regular timetable operations and in real time in the event of any delays or altered train sequences. Planned departure times, minimum dwell times at stations and non stop train movements are also considered.

The prediction calculates the t_{sig} time at which the route over a level crossing must be signalled to prevent the train from crossing its indication curve and does so for each train. This calculation uses the relevant train category's ETCS indication curve. By subtracting the Δt_{close} level crossing closing time (including the warning, barrier lowering, system reaction and ergonomics time) from t_{sig}, the trigger time $t_{trigger} = t_{sig} - \Delta t_{close}$ is obtained. This is the moment at which the level crossing closing process must be initiated. The trigger time is calculated individually for each train and each level crossing, even if a route contains several crossings. Level crossings with shorter warning and closing times are therefore activated later so as to reduce any disruption to individual traffic. To achieve this, the route setting must be decoupled from the level crossing closure in the train control system. The Movement Authority (MA) for the route, however, is still only extended once all the level crossings within the route have been closed.

The prediction also calculates the t_{free} time at which the level crossing track circuit has been cleared and the barrier may be reopened. If the interval between reopening and the next trigger is too short, i.e. if $t_{1,free} + \Delta t_{opening} + \Delta t_{minOpen} > t_{2,trigger}$, the level crossing will remain closed by means of its continued activation. Here, $\Delta t_{opening}$ denotes the time required for the barrier to fully open and $\Delta t_{minOpen}$ represents the level crossing's configurable minimum open time. A concrete example is illustrated in fig. 4 and described in the following section. Unlike conventional solutions, this maintained activation calculation is also based on dynamic data and eliminates the disadvantage of designing trigger points for the fastest trains on the line, thus avoiding any unnecessarily long maintained activation times.

Fig. 4 illustrates a fictitious example of two crossing trains with maintained level crossing activation on the BLS line. In this scenario, the overlap of the train coming from Moos (blue, approaching from the left) requires the closure of the Gartenstadtstraße level crossing. The closure for the purpose of overlap protection is implemented without locking the level crossing. AdmiRail TPO calculates both level crossing trig-

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Bild 4 zeigt ein fiktives Beispiel für eine Kreuzung von zwei Zügen mit Tiefhaltung auf der BLS-Strecke. Hier erfordert der Durchrutschweg des Zuges aus Moos (blau von links) ein Schließen des Bahnübergangs Gartenstadtstraße. Das Schließen für den Durchrutschweg wird ohne Verschluss des Bahnübergangs umgesetzt. AdmiRail TPO berechnet die Anstoßzeiten für beide Bahnübergänge des Zugs aus Liebefeld (rot von rechts), damit die Fahrstraße signalisiert werden kann, sobald der Durchrutschweg (und damit der besondere Verschluss gegen gleichzeitige Einfahrten) nach dem Halt des linken Zuges aufgelöst wird. Da zu diesem Zeitpunkt der Bahnübergang Gartenstadtstraße bereits geschlossen ist, wird die Tiefhaltung aktiviert. Auch für die Durchfahrt des linken Zuges liegt der berechnete Anstoßzeitpunkt für den Bahnübergang Gartenstadtstraße zeitlich nahe genug an der Freifahrt des Gleisfreimelders durch den rechten Zug. Deshalb bleibt die Tiefhaltung weiterhin aktiv. Für den Bahnübergang Könizstraße ist in diesem Beispiel keine Tiefhaltung erforderlich, da der zweite Anstoßzeitpunkt nicht in der konfigurierten Tiefhaltezeit liegt.

7.3 Aufbau des Systems

Der AdmiRail TPO ist als eigenständiges System konzipiert, welches das Leitsystem bei der optimalen Steuerung von Schließ- und Tiefhaltezeiten der Bahnübergänge unterstützt (Bild 5). Aktuell wird die Anbindung an das bestehende Siemens Leitsystem Iltis entwickelt. Dank des modularen Aufbaus ist jedoch auch eine Integration in andere Leitsystemumgebungen und bestehende Bahnstrecken problemlos denkbar.

Für den Betrieb benötigt AdmiRail TPO eine Schnittstelle zum Leitsystem, um den aktuellen Betriebszustand der Strecke zu beziehen, sowie

ger times for the train coming from Liebefeld (red, approaching from the right) in such a way that the route can be signalled as soon as the overlap (and thus the special locking for protection against any conflicting routes) is released after the left-hand train has stopped. Given that the Gartenstadtstraße level crossing is already closed at that point in time, maintained activation is active. The calculated trigger time for the passage of the left-hand train at the Gartenstadtstraße level crossing is also sufficiently close in time to the clearing of the track circuit by the right-hand train. Consequently, maintained activation remains active. No maintained activation is required for the Könizstraße level crossing in this example, as the second trigger time does not fall within the configured maintained activation interval.

7.3 System architecture

The AdmiRail TPO has been designed as a standalone system supporting the train control system with regard to the optimal control of level crossing closure and maintained activation times (fig. 5). An interface to the Siemens Iltis train control system is currently under development. Integration into other traffic control system environments and existing railway lines is also possible thanks to its modular architecture.

AdmiRail TPO requires an interface to the train control system in order to obtain the line's current operating status, as well as an interface to the timetable system. Control commands for level crossings are implemented via the Iltis train control system, although alternative interfaces are also conceivable (tab. 1).

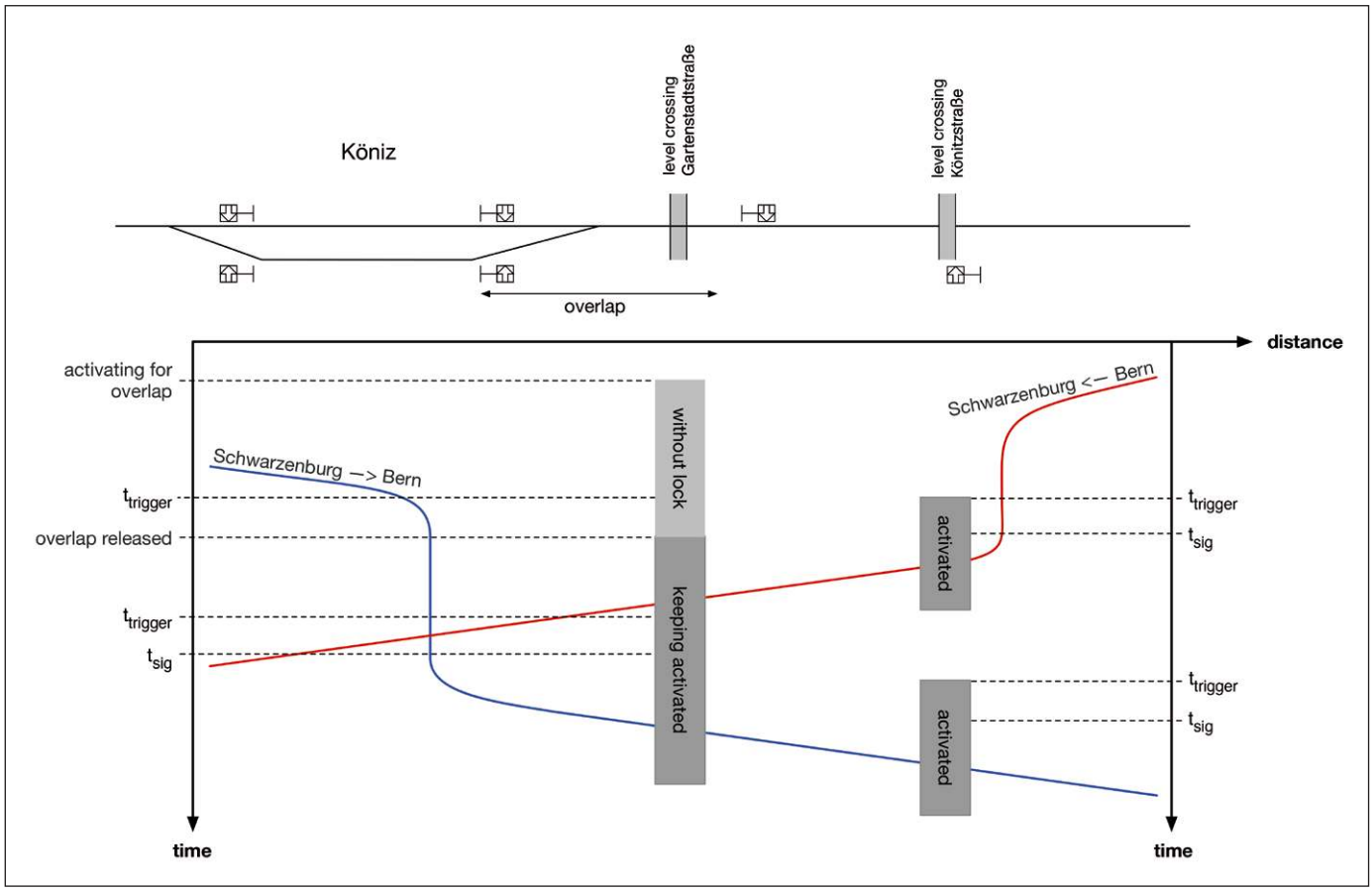


Bild 4: Beispiel für eine Kreuzung von zwei Zügen mit Tiefhaltung, Beschreibung im Text
Fig. 4: An example of a train crossing situation with maintained activation, as described in the text

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

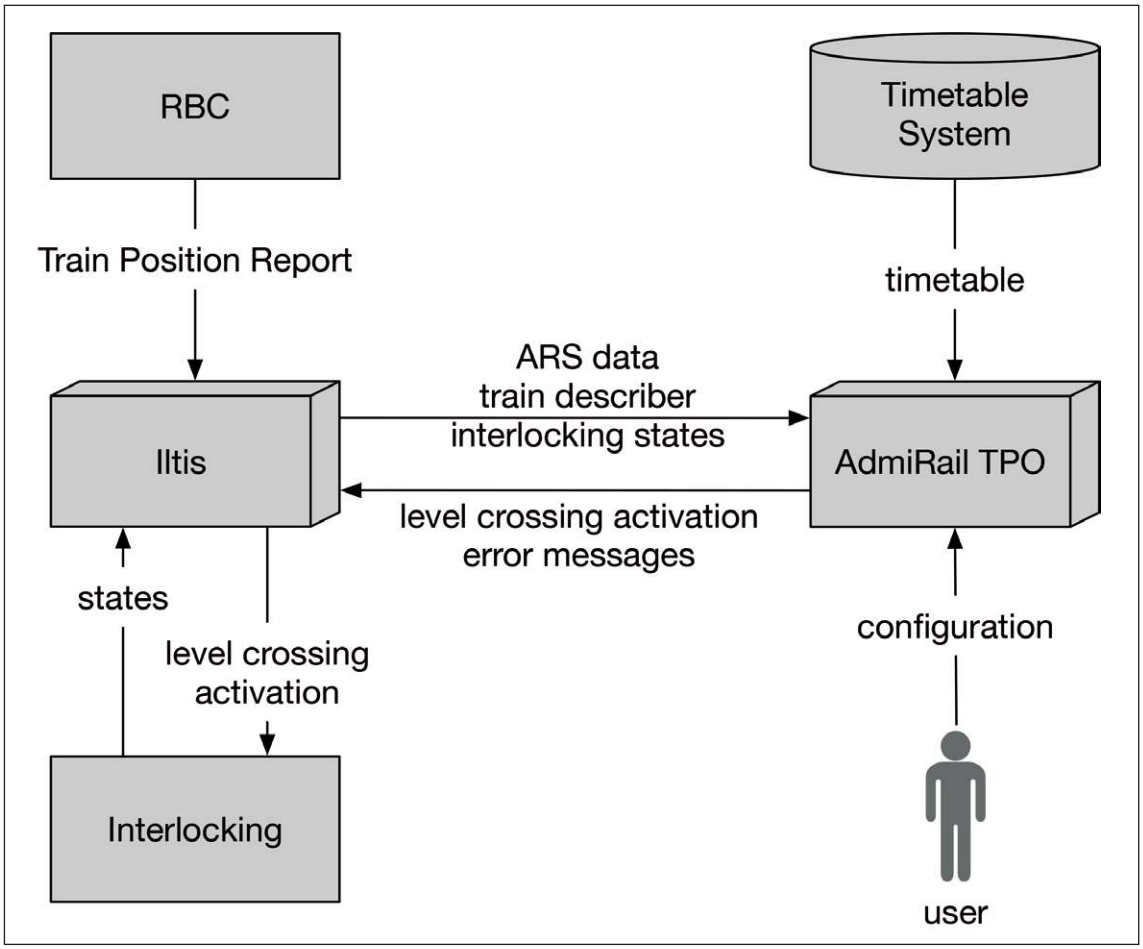


Bild 5: Architekturübersicht der Bahnübergangsoptimierung AdmiRail TPO
Fig. 5: An architectural overview of level crossing optimisation with AdmiRail TPO

eine Schnittstelle zum Fahrplansystem. Die Steueranweisungen für die Bahnübergänge werden von AdmiRail TPO über das Leitsystem Iltis realisiert, eine andere Schnittstelle wäre aber auch möglich (Tab. 1).
Das gesamte System AdmiRail TPO wird als containerisierte Anwendung bereitgestellt und in einer modernen Kubernetes-Umgebung betrieben. Dadurch lässt es sich einfach, konsistent und in isolierten Laufzeitumgebungen – sowohl beim Kunden oder auch in einer Cloud – ausrollen.

7.4 Konfiguration

AdmiRail TPO bezieht viele Echtzeit-Daten über die Schnittstellen zu Iltis und zum Fahrplansystem. Für die Prognose der Zugbewegungen sind zusätzliche statische Daten notwendig, wie die erwähnte Schließzeit der Bahnübergänge, Informationen über das Beschleu-

Schnittstelle	Funktion / Datenfluss
Fahrplansystem	• Import der aktuellen Fahrplandaten
Iltis (Leitsystem) – Import	• Zuglenkdaten. Von AdmiRail TPO werden insbesondere die Dispositionskriterien (DisKri) D (Dispohalt), H (Halt), B (Behinderung), T (Abfahrtszeit) berücksichtigt. • ETCS-Fahrzeug- und Streckeninformationen. • Stellwerkzustände (z. B. Belegungen der Gleisfreimelder, Signalbegriffe, Fahrstraßenzustände). • Zustände der Bahnschranken.
Iltis (Leitsystem) – Export	• Anstöße für die Bahnübergänge (Schließen, Tiefhalten). • Störungs- und Systemmeldungen.

Tab. 1: AdmiRail TPO-Schnittstellen

The AdmiRail TPO system is provided as a containerised application and operated within a modern Kubernetes environment. This enables straightforward, consistent deployment in isolated runtime environments, whether on premises at the customer's site or in a cloud infrastructure.

7.4 Configuration

AdmiRail TPO obtains extensive real time data via its interfaces to Iltis and the timetable system. Train prediction requires additional static data, such as level crossing closing times, train acceleration and braking characteristics, and parameters for calculating the indication curve for each train category. AdmiRail TPO includes a simple web based user interface so as to allow these parameters to be gradually adapted to real world condi-

Interface	Function / Data Flow
Timetable system	• Import of the current timetable data.
Iltis (train control system) – import	• Automatic route setting data. AdmiRail TPO considers the dispatching criteria in particular: D (dispatching stop), H (stop), B (conflicting train), T (departure time). • ETCS vehicle and infrastructure data. • Interlocking states (e.g. track circuit occupancies, signal aspects, route states). • Status of level crossings.
Iltis (train control system) – export	• Trigger commands for level crossings (closing, keeping activated). • Error and system messages.

Tab. 1: AdmiRail TPO Interfaces

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

nigungs- und Bremsvermögen der Züge sowie Parameter zur Berechnung der Indication Curve für jede Zugkategorie. Um diese Konfiguration im Betrieb an die echten Verhältnisse und das Verhalten der Lokführer schrittweise anzupassen, ohne jedes Mal einen neuen Release ausliefern zu müssen, enthält AdmiRail TPO eine einfache Bedienoberfläche, auf welche der Betreiber mit einem Browser zugreifen kann. Die Webseite bietet für jeden Bahnübergang und jede Zugkategorie ein Formular mit den änderbaren Parametern. Die veränderten Werte werden bereits in der nächsten Prognoserechnung und damit in der Bahnübergangsansteuerung berücksichtigt. Diese Bedienoberfläche wird mittels EntraID und Anbindung an das Active Directory des Betreibers vor unautorisiertem Zugriff geschützt.

8 Gegenwart und Zukunft

Die uns bekannten und bislang üblichen Lösungen arbeiten im Wesentlichen mit statischen Einschaltpunkten und festgelegten Szenarien. Diese statischen Vorgehensweisen stoßen im praktischen Betrieb schnell an Grenzen: Sie benötigen oft zusätzliche Anstoßpunkte und können die tatsächliche Betriebssituation im Allgemeinen nur unzureichend berücksichtigen. Dies führt zu längeren oder unnötig früh eingeleiteten Schließzeiten. Das neue System hingegen benötigt keinerlei vordefinierte Szenarien. Die dynamische Steuerung reduziert damit sowohl den planerischen Aufwand als auch manuelle Nachjustierungen signifikant.
Durch die Kombination aus präzisen Echtzeit-Streckendaten sowie aktuellen Fahrplaninformationen wird AdmiRail TPO zum idealen Dreh- und Angelpunkt für weiterführende Optimierungen. Denkbar sind Funktionen, die oft nur von komplexen Disposystemen zur Verfügung gestellt werden. Z. B. eine Zuglaufverfolgung mit Geschwindigkeitsüberwachung, eine Konflikterkennung in Echtzeit, welche eine ganze Strecke abdeckt oder Vorschläge zur Konfliktlösung. Ebenfalls denkbar ist eine Automatisierung von komplizierten Betriebsprozessen wie das Reversing von Zügen. Solche und weitere Funktionen können dank der vorhandenen Echtzeit-Streckendaten und der modularen Architektur in AdmiRail TPO integriert werden.

9 Die Erprobung bei der BLS

Siemens hat bei der BLS die ideale Möglichkeit, AdmiRail TPO im realen Betrieb unter Beweis zu stellen. Wir freuen uns darauf, das System in anspruchsvollen Tests zu validieren und sehen es als wertvolle Chance, sowohl die Stärken zu bestätigen als auch allfällige Herausforderungen zu erkennen.
Durch die Verschmelzung präziser 2-Informationen mit intelligenter Prognosetechnologie entsteht ein System, das die Belastung für den Straßenverkehr kosteneffizient und ohne Abstriche bei der Sicherheit minimiert. Die Bahnübergänge werden nicht länger statisch betrieben, sondern intelligent, vorausschauend und bedarfsgerecht – ein wesentliches Merkmal einer modernen, leistungsfähigen und kundenorientierten Mobilität. ■

tions and driver behaviour without requiring a new software release. The interface provides a form for adjusting the configurable parameters for each level crossing and train category. The modified values are considered in the very next prediction cycle and consequently in the level crossing control. Access to this interface is protected against unauthorised access via EntraID and integration with the operator's Active Directory.

8 The present and the future

Existing and conventional solutions largely rely on static activation points and predefined scenarios. In practice, these approaches quickly reach their limits, often requiring additional trigger points and being unable to adequately reflect the actual operating conditions. This frequently leads to extended or unnecessarily early closing times. The new system, by contrast, does not require any predefined scenarios. Its dynamic control significantly reduces both planning effort and the need for any manual adjustments.
By combining precise real time infrastructure data with up to date timetable information, AdmiRail TPO becomes an ideal foundation for further optimisation functions, many of which are typically only available in complex dispatching systems. These may include train tracking with real time speed monitoring, network wide conflict detection, conflict resolution proposals or the automation of complex operating processes such as train reversing. The availability of real time infrastructure data and the modular architecture means that such functions can be seamlessly integrated into AdmiRail TPO.

9 Trial operations at BLS

Siemens has an ideal opportunity to demonstrate AdmiRail TPO in real world operation at BLS. We look forward to validating the system in demanding tests and consider this a valuable opportunity to confirm its strengths while also identifying any potential challenges.
The combination of precise ETCS L2 information with intelligent prediction technology creates a system that cost effectively minimises the impact on individual transport without compromising safety. Level crossings are no longer operated statically, but intelligently, proactively and according to demand: an essential characteristic of modern, efficient and customer oriented mobility. ■

AUTOREN | AUTHORS

Dipl. Mikrotech.-Ing. ETH Peter Bachmann
Siemens Mobility AG
Anschrift / *Address*: Riedstraße 1, CH-6343 Rotkreuz
E-Mail: peter.bachmann@siemens.com

Dipl. El.-Ing. HTL Bernhard Diethelm
Siemens Mobility AG
Anschrift / *Address*: Hammerweg 1, CH-8304 Wallisellen
E-Mail: bernhard.diethelm@siemens.com

Dr. sc. nat. Guido Schmid
Siemens Mobility AG
Anschrift / *Address*: Riedstrasse 1, CH-6343 Rotkreuz
E-Mail: guido.schmid@siemens.com

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Foto: Deutsche Bahn AG/Wolfgang Klee

KONGRESS **Hybridveranstaltung**

26. SIGNAL+DRAHT-Kongress

12. – 13. November 2026,
Maritim Hotel, Fulda

Jetzt anmelden

Einfach. Machen. Unter diesem Motto greift der 26. Signal+Draht-Kongress erfolgreiche Beispiele für eine konsequente und schnelle Umsetzung von LST-Projekten auf. Im Fokus steht neben den Erfolgsfaktoren die Frage, welche Ansätze sich für einen schnelleren Rollout neuer Technologien auch außerhalb einzelner Projekte übertragen lassen.

Konkrete Beispiele sind die ETCS-Einführung auf der Wiener Stammstrecke, die Digitalisierung bei S-Bahn und U-Bahn in Hamburg, der Pilot zur Remote Train Operation bei der S-Bahn München, der Wiederaufbau der Ahrtalbahn. Unter dem Stichwort „lessons learned" werden außerdem Ansätze zur Beschleunigung des ETCS-Rollouts, Erfahrungen aus der ETCS-Fahrzeugumrüstung und die Verprobung der neuen Guidelines zum Cyber Resilience Act vorgestellt.

Ein weiterer Themenschwerpunkt ist die Künstliche Intelligenz: Konkrete Anwendungsfälle im Wissensmanagement bei Betreibern und Industrie sowie in der Zugdisposition zeigen exemplarische Entwicklungen im Bahnsektor auf. Ein Innovationsthema sind Stellwerke unter Nutzung von Cloud-Technologie. Von hoher Relevanz ist die Resiilienz des Bahnsystems generell und im Lichte der Anforderungen für Military Mobility. Und zur kontroversen Diskussion stehen Optionen für die Einführung eines neuen Zugfunksystems.

Neben der Präsenzteilnahme vor Ort in Fulda mit der Gelegenheit zum Austausch und persönlichen Gesprächen mit den rund 300 Teilnehmenden ist alternativ auch die digitale Teilnahme am Livestream möglich.

Jetzt anmelden unter: **www.eurailpress.de/sdk2026**

Organisation
Olga Freund
+49 (0) 40 237 14-351
olga.freund@dvvmedia.com

Ausstellung
Silke Härtel
Tel: +49 (0) 40 237 14-227
E-Mail: silke.haertel@dvvmedia.com

Veranstalter
Eurailpress

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

www.eurailpress.de/sdk2026

26. SIGNAL+DRAHT-Kongress
Einfach. Machen.

Donnerstag, 12. November 2026		Referent/in
10:30	Begrüßung	Manuel Bosch, DVV Media Group GmbH
10:35	Einleitung	Reinhold Hundt / August Zierl, SIGNAL+DRAHT
10:40	Neues zur Organisation und Finanzierung der Digitalisierung des Schienenverkehrs in Deutschland	Florian Böhm, BMV
11:10	Einführung von ETCS ohne Signale auf der Wiener Schnellbahn-Stammstrecke	Ramo Begic, ÖBB Infrastruktur
11:40	Digitalisierung der Betriebsführung und ATO over ETCS bei der S-Bahn Hamburg	Christoph Gonçalves Alpoim, S-Bahn Hamburg
12:05	Pilot zur Remote Train Operation in der Betriebswerkstatt der S-Bahn München	René Neuhäuser, S-Bahn München
12:30	Mittagessen	
13:40	*Review: Erfolgreiche Inbetriebnahmen*	
13:45	Wiederaufbau Ahrtalbahn – was können wir aus der Rekordgeschwindigkeit in der Krise lernen?	Benjamin Lück, DB InfraGO Dominik Oyen, Scheidt & Bachmann
14:10	Beschleunigung des ETCS-Rollouts: Übertragbarkeit erfolgreicher Projektansätze	Markus Talg, Siemens Franz Jost, Quattron
14:35	Praktische Erfahrungen für den Serienrollout: ETCS-Fahrzeugumrüstung im Digitalen Knoten Stuttgart	*angefragt*
15:00	Kaffeepause	
15:30	Erkenntnisse aus der Praxisverprobung der europäischen Guidelines zum Cyber Resilience Act	Oliver Knapp, DB InfraGO
16:00	Digitalisierung und Automatisierung im Stadtbahnbetrieb – Einführung von GoA 2 in Frankfurt	Dr. Thomas Hempe, Verkehrsgesellschaft Frankfurt
16:30	Kontroverse: Optionen zur Ablösung von GSM-R - wie weiter mit FRMCS?	Christian Sagmeister, ÖBB Infrastruktur Emini Driton, Deutsche Telekom
17:15	120 Jahre SIGNAL+DRAHT	Manuel Bosch, DVV Media Group GmbH Reinhold Hundt, SIGNAL+DRAHT August Zierl, SIGNAL+DRAHT
18:30	Abend der Kommunikation	

Freitag, 13. November 2026		Referent/in
9:00	Keynote: Künstliche Intelligenz	Florian Dohmann, Birds on Mars
9:30	Wissensmanagement und Entstörung mit KI-Unterstützung - Erste Schritte, Probleme und Herausforderungen	Anke Wiedenroth, DB InfraGO Thomas Honisch, DB InfraGO
9:40	Die ehrliche KI: Hochqualitative Antworten für Sicherheitsanwendungen	Saskia Cordier, Siemens
9:50	Von Basic Integrity zur Zukunft der sicheren KI im Bahnsektor	Joel Mwaka, Hitachi
10:00	Entwicklung eines CTMS mit KI-Unterstützung	Moritz Heimes, DB InfraGO
10:30	Kaffeepause	
11:00	Realisierung von Stellwerken mit Cloud-Technologie	Fabian Scherer, SBB
11:25	Resilienz im Bahnsystem ganzheitlich gedacht	Patric Birr, Incyde
11:50	Resilienz im Bahnsystem - ein Bericht aus der Praxis	Alexander Pavlenko, Ukrainian Railways
12:20	Abschluss	Reinhold Hundt / August Zierl, SIGNAL+DRAHT
12:30	Ende der Veranstaltung	

Offizielle Kongresspublikation SIGNAL+DRAHT

Unterstützt von IRSE

Medienpartner Railway Gazette GROUP, Eurailpress, NaNa, NaNa-Brief, DER NAHVERKEHR

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Vergleich der nationalen ETCS-Level 2-Implementierungen

A comparison of national ETCS Level 2 implementations

Juan Simón-Muzás | Julia Kalkreiber

Das Europäische Zugbeeinflussungssystem European Train Control System (ETCS) wurde ursprünglich als eine Reihe standardisierter Funktionen konzipiert, die es den Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) ermöglichen sollten, ETCS optimal an die betrieblichen und technischen Vorschriften der nationalen Eisenbahnnetze anzupassen. Die nationalen Implementierungen von ETCS Level 2 (L2) unterscheiden sich jedoch erheblich voneinander, was zum Teil auf unterschiedliche Ansätze und eigenständige Entwicklungen zurückzuführen ist. In diesem Beitrag werden die unterschiedlichen nationalen Implementierungen von ETCS L2 anhand zweier ausgewählter Szenarien analysiert.

1 Ursachen unterschiedlicher nationaler ETCS-Implementierungen

Die Ursprünge von ETCS gehen auf die Erfahrungen zurück, die im Rahmen des ASTREE-Projekts (Automatisation du Suivi des Trains en Temps Réel, Automatisierung der Zugverfolgung in Echtzeit) der französischen Staatsbahn (SNCF) Ende der 1980er und Anfang der 1990er Jahre gesammelt wurden. Ziel des Projekts war es, die praktische Umsetzung des Fahrens im wandernden Raumabstand (Moving Block) zu demonstrieren. Der angestrebte Nutzen eines solchen Systems bestand in der Steigerung der Streckenkapazität und der Senkung der Kosten, um die Wettbewerbsfähigkeit der Eisenbahnen zu erhöhen. Diese Erfahrungen führten zur Definition von ETCS als ein modulares, auf Balisen basierendes System mit drei möglichen Ausrüstungsstufen (Levels) [1].

Die an dem Projekt beteiligten Ingenieure waren sich der unterschiedlichen Sicherheitsphilosophien, betrieblichen und technischen Regeln der einzelnen europäischen Eisenbahnnetze bewusst. Aus diesem Grund wurde ETCS als ein Baukasten mit Funktionen und Betriebsarten konzipiert. Dieser sollte jedem EIU und / oder jeder Eisenbahnbehörde ermöglichen, ETCS an die Eigenschaften ihres Eisenbahnnetzes, insbesondere an die nationalen Betriebsverfahren, anzupassen. Während die ETCS-Fahrzeugausrüstung durch das Subset-026 [2] standardisiert ist, wird hinsichtlich der streckenseitigen Ausrüstung mit ETCS mehr Freiraum gelassen, um die Integration von ETCS in die verschiedenen Eisenbahnsysteme zu ermöglichen, was zu verschiedenen Implementierungen führte [3].

Bild 1 zeigt ein Fishbone-Diagramm, in dem die Ursachen für die heterogenen nationalen Implementierungen in vier Hauptkategorien zusammengefasst sind. Abgesehen von diesen offensichtlichen länderspezifischen Unterschieden hat eine Reihe von Faktoren im Zusammenhang mit der späteren Entwicklung des Eisenbahnsektors und der nationalen Umsetzungsstrategie zu den verschiedenen Implementierungen von ETCS L2 in Europa geführt.

The European Train Control System (ETCS) was originally conceived as a set of standardised functions to enable infrastructure managers (IMs) to adapt ETCS optimally to the operating and technical rules of each national railway network. However, national ETCS Level 2 (L2) implementations often differ significantly from one another, partly due to the different approaches that are embraced and rather independent development. This article analyses different national implementations of this ETCS level based on two selected scenarios.

1 The reasons for different national ETCS variants

The origins of ETCS can be traced back to the experiences acquired through the ASTREE project (Automatisation du Suivi des Trains en Temps Réel) [Automation of Train Spacing in Real Time] of the French National Railways (SNCF) in the late 1980s and early 1990s. The project aimed to demonstrate the practical implementation of the "Moving Block". The benefits pursued with such a system included increased performance and reduced costs, thereby making railways more competitive. These experiences led to the definition of ETCS as a three-level balise-based modular system [1].

The engineers involved in the project were aware of the different safety philosophies and the operating and technical rules used by each European national railway network. For this reason, ETCS was designed as a toolbox of functions and modes available to every IM and/or national railway authority, thereby enabling them to adapt it to the needs, rules and features of their railway network. While the ETCS on-board equipment has been highly standardised by Subset-026 [2], more freedom is allowed trackside in order to permit the integration of ETCS into the different railway systems, thus leading to various solutions [3].

Fig. 1 depicts a fishbone diagram in which the causes of heterogeneous national implementations have been summarised into four main categories. In addition to these foreseeable differences between countries, a group of factors related to the subsequent development of the railway sector and the national implementation strategy has also led to a varied map of national ETCS L2 implementations across Europe.

2 Selected scenarios

The deployment of Eurobalises, as well as the operating and technical solutions for specific operating scenarios, has been analysed in a master's thesis [4] at the Dresden University of Technology.

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

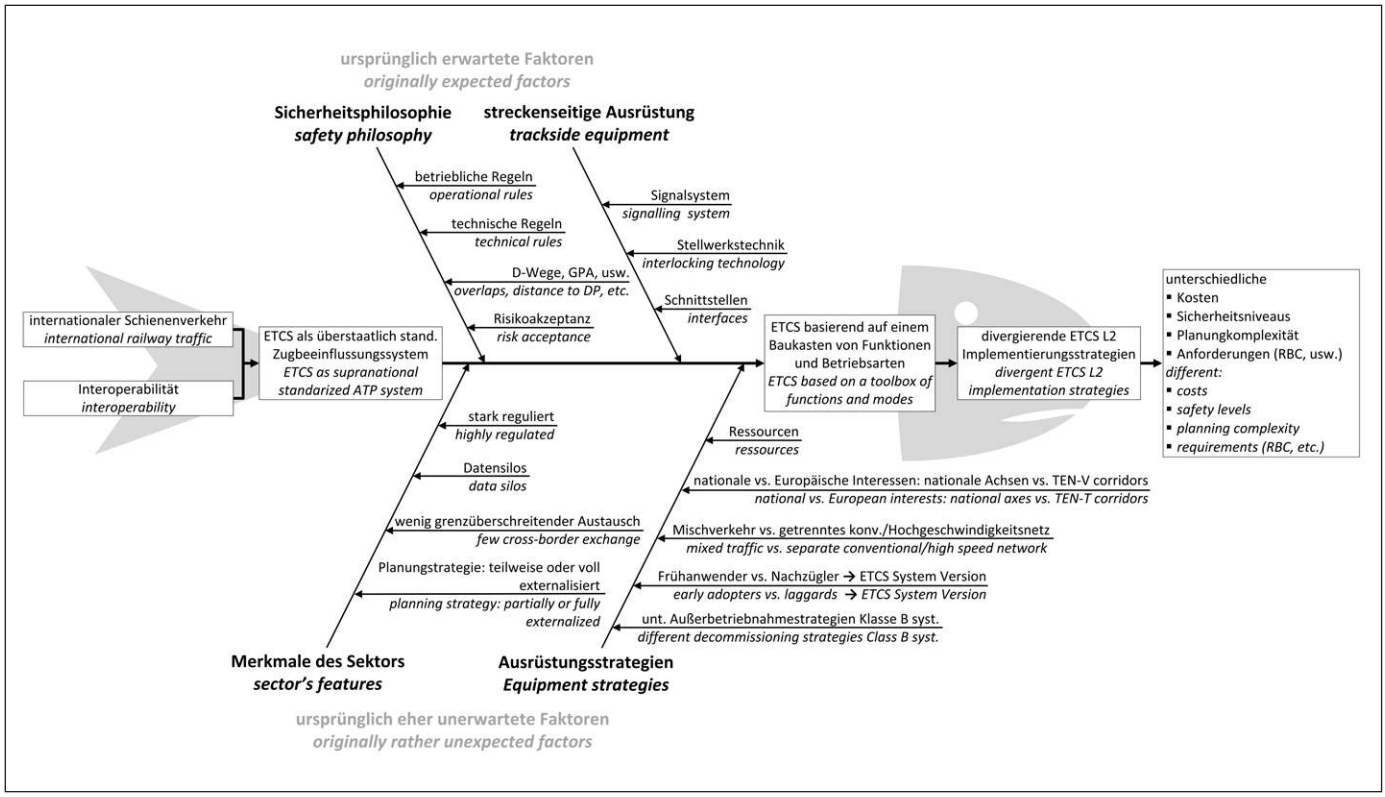


Bild 1: Fishbone-Diagramm zur Ursachenanalyse der heterogenen nationalen Implementierungen von ETCS L2, Untersuchung ausgewählter Szenarien
Fig. 1: A fishbone diagram of the root cause analysis of the heterogeneous national implementations ETCS L2, analysis of selected scenarios Quelle / *Source*: [4]

2 Ausgewählte Szenarien

Der Einsatz von Eurobalisen sowie die betriebliche und technische Lösung für bestimmte Betriebsszenarien wurden in einer Masterarbeit [4] an der Technischen Universität (TU) Dresden analysiert. Die Untersuchung beschränkte sich auf fünf ausgewählte Länder mit ETCS L2-Erfahrung. Es wurden die Gemeinsamkeiten und Unterschiede sowie Vor- und Nachteile der einzelnen nationalen Implementierungen von ETCS L2 analysiert.

Aufgrund unterschiedlicher Bezeichnungen von Balisengruppen (BG) in den jeweiligen nationalen Regelwerken wurde im Rahmen der Untersuchungen ein einheitliches System zur Kategorisierung von BG vorgeschlagen. Die folgenden beiden BG-Typen dienen neben der Fahrzeugortung zusätzlich der Übertragung von Informationen an das Fahrzeug in Form von Paketen:

- BG Typ S (Signal) an Hauptsignalen. Diese bestehen aus zwei ungesteuerten Balisen und enthalten in der Regel Pakete, u. a. 137 „Stop if in SR" (DB InfraGO, ÖBB-Infrastruktur);
- BG Typ B1 (Border 1) für Transitionen nach bzw. aus ETCS L2 auf der freien Strecke. Sie enthalten u. a. die Pakete 3, 42, 45 oder 46.

Insbesondere in Bahnhöfen ist es wichtig, die Ortungsungenauigkeit der Fahrzeuge zu begrenzen, da die Entfernungen zu ETCS-Gefahrpunkten oft gering sind. Dies wird durch eine höhere Anzahl von Balisen erreicht. Die folgenden BG-Typen dienen ausschließlich der Ortung, enthalten oft keine Pakete und bestehen aus einer oder zwei ungesteuerten Balisen:

- BG Typ T (Track) zwischen den Hauptsignalen, die das betrieblich nutzbare Hauptgleis begrenzen;
- BG Typ M (Manoeuvring): innerhalb des Weichenbereiches. Sie begrenzen die Risiken, die im Szenario ETCS-H0003 vom Subset-113 [6] beschrieben sind;

The scope was limited to five selected countries with experience of ETCS L2. Similarities, differences, advantages and disadvantages of each national ETCS L2 implementation were analysed.

A standardised system for categorising balise groups (BGs) was proposed as part of the study due to the varying terminology used to refer to BGs in the respective national regulations. Trackside is one of the two parts involved in the national implementations. A system for categorising BG types and comparing national ETCS L2 implementations has therefore been suggested:

- Type S BG at main Signals. Comprised of two fixed balises, usually containing packets such as 137 "Stop if in SR" (DB InfraGO, ÖBB-Infrastruktur).
- Type B1 BG (Border 1) for transitions into and out of ETCS L2 on a free track, usually containing Packets 3, 42, 45 or 46, amongst others.

It is essential to limit any location inaccuracies, especially at stations. The vehicle location must be precise, as the distances to the danger points are sometimes short. This is achieved through a higher number of balises. The following BG types serve solely for location purposes, often do not contain any packets and consist of one or two fixed balises:

- Type T BGs, on main Tracks.
- Type M BGs are located within the throat or more precisely within the "interlocking area" according to the American terminology [5]. They are relevant for Manoeuvring and mitigate the hazards described in ETCS-H0003 [6].
- Type B2 BGs are employed as a Border between any sidings and the area equipped with ETCS L2, i.e. the limit of the route map of the Radio Block Centre (RBC).

Fig. 2 shows the deployment of BGs according to the proposed system and the standard Start of Mission (SoM) procedure for trains located in the rear or in advance of a Type T BG on the

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

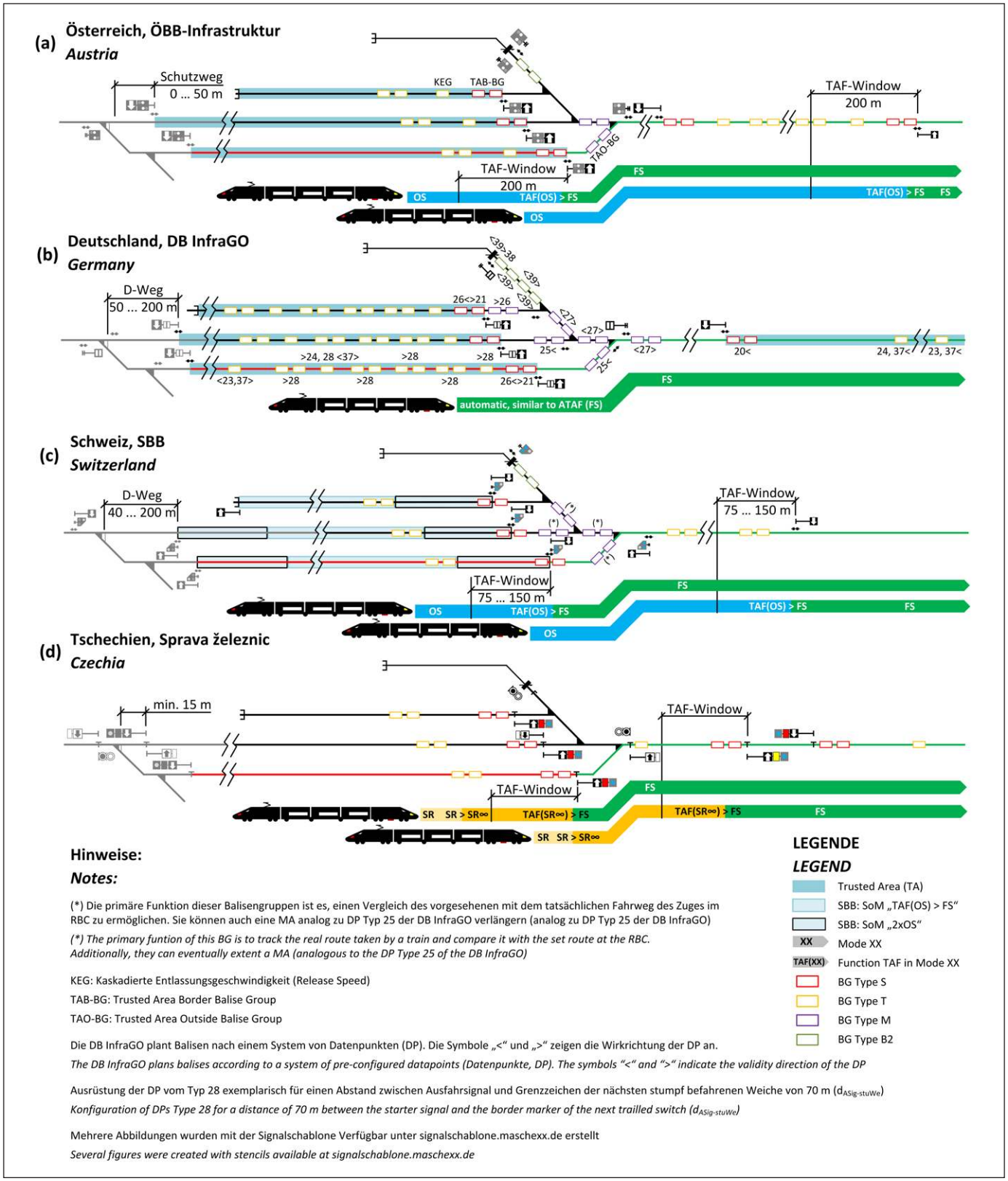


Bild 2: Anordnung von BG für den Kopf eines kleinen Bahnhofs für das Standard-SoM-Verfahren von vier nationalen ETCS L2-Implementierungen
Fig. 2: A BG Installation on one side of a small station and the standard SoM procedures from four national ETCS L2 implementations Quelle / *Source*: J. Simón-Muzás

- BG Typ B2 (Border 2): Grenze zwischen mit ETCS L2 ausgerüstetem und nicht ausgerüstetem Bereich.

Bild 2 zeigt den Einsatz von BG gemäß den zuvor eingeführten BG-Kategorien für das Standardverfahren für das Aufstarten von Zügen (Start of Mission, SoM), die sich vor oder hinter einem BG Typ T auf main track. Some IMs with safety philosophies based on short overlaps, such as ÖBB-Infrastruktur (fig. 2a), install additional balises such as KEG-BG (kaskadierte Entlassungsgeschwindigkeit, Release Speed) behind the main signals as a compensation measure [4].

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

dem Hauptgleis befinden. Einige EIU mit einer Sicherheitsphilosophie, die auf kurzen Durchrutschwegen basiert, installieren als Kompensationsmaßnahme zusätzliche Balisen vor Hauptsignalen. Die ÖBB-Infrastruktur (Bild 2a) sieht für diesen Zweck beispielsweise die KEG-BG (kaskadierte Entlassungsgeschwindigkeit, Release Speed) vor [4]. Zwei der fünf untersuchten Szenarien werden in den folgenden Abschnitten behandelt: „SoM" und „Rangieren auf Haupt- und Nebengleisen".

2.1 SoM

SoM ist ein Initialisierungsverfahren für die ETCS-Ausrüstung der Fahrzeugeinrichtungen gemäß Subset-026 [2], das zum Beginn einer Zugfahrt verwendet wird. Die nationalen Umsetzungen dieses Verfahrens wurden auf Basis der nachfolgenden drei Bedingungen untersucht, die für ein erfolgreiches SoM erfüllt sein müssen:

- Fahrstraßenverschluss und -festlegung
- Übermittlung der Fahrzeugposition an das Radio Block Centre (RBC)
- Freisein des Gleisabschnittes zwischen Zugspitze und Zwischen- bzw. Ausfahrsignal.

Das Verfahren endet damit, dass das RBC dem Triebfahrzeug eine Fahrterlaubnis (Movement Authority, MA) erteilt.

2.1.1 Fahrstraßenverschluss und -festlegung

Eine Fahrstraße muss vor jedem SoM verschlossen und festgelegt sein. Das Stellwerk ist dafür verantwortlich, dies zu überprüfen. Die zulässige Geschwindigkeit der Fahrstraße wird durch die einzelnen Fahrstraßenelemente und Projektierungsdaten definiert. Wenn der Prozess erfolgreich abgeschlossen ist, wird das Signal auf „Fahrt" gestellt. Damit kann die MA an das Fahrzeug übertragen werden.

2.1.2 Übermittlung der Fahrzeugposition an das RBC

Die zweite Bedingung für ein erfolgreiches SoM betrifft das Fahrzeug selbst. Bevor ein Zug ein SoM ausführt, muss er dem RBC seine Position und andere im ETCS-Fahrzeuggerät gespeicherte Informationen übermitteln. Das RBC prüft anschließend den Status dieser Informationen, bevor es eine MA erteilt. Die Zustände der Daten können durch folgende Aktionen geändert werden: Löschen (delete, D), Zurücksetzen (reset, R), Unverändert (unchange, U) oder Revalidieren (to be revalidated, TBR) [2]. Die Zugposition ist für SoM besonders relevant und kann drei verschiedene Zustände annehmen: gültig, ungültig oder unbekannt [2], die sich durch die oben genannten Aktionen ändern können.

Das Verfahren SoM ist beispielsweise nach der Abstellung bzw. Abrüstung eines Zuges erforderlich, was mit einem Wechsel in die Betriebsart „Stand By" (SB) oder „No Power" (NP) sowie einer Beendigung der Kommunikation durch ein „End of Mission" (EoM) verbunden ist. Die beiden Betriebsarten SB und NP führen zu Aktionen, die die gespeicherten Daten verändern, wie in Tab. 1 [2] dargestellt. Ein Zug, der ein EoM durchführt und in einen dieser beiden Betriebsarten übergeht, ändert seinen Zugpositionsstatus von „gültig" zu

Fahrzeugseitige Daten	mode NP	mode SB
Zugposition	D	TBR
ETCS Level	TBR	U
Triebfahrzeugführer	TBR	U
Funknetz-ID	D	TBR
RBC ID / Telefonnummer	U	U
Zugnummer	TBR	U
Reversing Area Information	D	TBR
Prioritätstabelle der streckenseitig unterstützenden Levels	D	D

Tab. 1: Aktionen der fahrzeugseitigen Daten in den Betriebsarten NP und SB

The operational procedure is the second part of the puzzle. Two of the five analysed scenarios will be addressed in the following sections: "SoM" and "Shunting on main tracks and sidings".

2.1 SoM

SoM is an initialisation procedure for the ETCS onboard equipment based on Subset-026 [2], which is used to initiate train movement. The national implementations of this procedure have been studied based on the structure involving the three conditions that must be met for a successful SoM:

- route setting and locking
- the provision of the vehicle position report to the RBC and
- the clearance of the track ahead between the train and the starter signal.

The process concludes with the RBC issuing a Movement Authority (MA) to the leading engine.

2.1.1 Route setting and locking

The interlocking is responsible for checking the fulfilment of the first condition. The route must have been set and locked. The speed will be determined by each element along the route and by the trackside data. Once the process has been successfully completed, the starter signal will show a "proceed" aspect, so that the MA can be sent to the vehicle.

2.1.2 The provision of the vehicle position report to the RBC

The second condition relates to the vehicle (onboard) itself. Before executing an SoM, a train must provide the RBC with data, such as its position and any other information stored in the onboard equipment. The RBC then checks the status of this information before issuing an MA. The data states can be changed through the following actions: delete (D), reset (R), unchange (U) or to be revalidated (TBR) [2]. The train position is particularly relevant for an SoM and can hold three different statuses, valid, invalid or unknown [2], which can change throughout the aforementioned actions.

A train often performs an SoM after having been parked. Therefore, an SoM is usually initiated from Stand By (SB) or No Power (NP) mode, after which the termination of the communication session is followed by an End of Mission (EoM). These two modes lead to actions that change the stored data, as shown in tab. 1 [2]. A train performing an EoM and entering into one of these two modes changes its train position status from valid to invalid or unknown status, as depicted in fig. 3 [2]. New trains are equipped with Cold Movement Detectors (CMD), a vehicle sensor that can determine whether a vehicle has moved within the first 72 hours after entering NP mode [2]. CMDs will be compulsory with the introduction of the TSI CCS of 2023 [7].

Another common scenario to consider in a safety case is that the vehicle may be passively shunted onto another main track or

Data stored onboard	mode NP	mode SB
train position	D	TBR
ETCS Level	TBR	U
driver ID	TBR	U
radio network ID	D	TBR
RBC ID / phone number	U	U
train running number	TBR	U
Reversing Area information	D	TBR
table of priority of trackside supported levels	D	D

Tab. 1: The ETCS onboard data actions of NP and SB modes Quelle / *Source*: [2]

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

„ungültig“ oder „unbekannt“, wie in Bild 3 [2] dargestellt. Neue Züge werden mit dem System Cold Movement Detection (CMD) ausgerüstet, einem Fahrzeugsensor, der feststellen kann, ob sich ein Fahrzeug innerhalb der ersten 72 Stunden nach Wechsel in den Modus NP bewegt hat [2]. CMD werden seit der Einführung der TSI ZZS 2023 verpflichtend [7].

Wird ein Fahrzeug vor der Ausführung einer SoM passiv auf ein anderes Gleis rangiert, wird eine eventuell vom Fahrzeug gemeldete gültige Position nicht auf die tatsächliche neue Position aktualisiert [8]. Somit ist die bloße Meldung einer gültigen Position durch das Fahrzeug für ein SoM nicht ausreichend. Dies bedeutet, dass die Position des Zuges sowohl gültig als auch eindeutig (auch: vertrauenswürdig) sein muss, damit das RBC eine MA im Modus Full Supervision (FS) ab einem Hauptsignal senden kann.

Gemäß der funktionalen Definition entspricht eine Trusted Area (TA) einem Abschnitt des Hauptgleises, der durch seine beiden begrenzenden Hauptsignale definiert wird. Nach einer topologischen Definition ist die TA der Gleisabschnitt zwischen den BG der begrenzenden Signale. Bei den untersuchten EIU wurden zwei grundlegend unterschiedliche Ansätze in Bezug auf TA zum Umgang mit der Mehrdeutigkeit der Zugposition bei SoM festgestellt:

- SoM ohne Definition von TA: Dieses Konzept basiert auf der Annahme, dass jeder Zug, der eine SoM durchführen soll, eine mehrdeutige Position hat. Sobald die Fahrstraße festgelegt und verschlossen ist, fährt der Zug in der Betriebsart On Sight (OS) oder Staff Responsible (SR) mit begrenzter Geschwindigkeit weiter. Nach kurzer Zeit liest die Antenne des Fahrzeugs die erste aus mindestens zwei Balisen bestehender BG auf dem Hauptgleis, die dann zur letzten relevanten Balisengruppe (LRBG) wird und eine eindeutige Position meldet (z. B. „TAF(OS) > FS“ der Schweizerische Bundesbahnen AG (SBB), Bild 2c). Befindet sich die LRBG ein Stück vor dem Hauptsignal, so erhält das Fahrzeug vor dem Erreichen des Startsignals eine MA in FS. Wenn dies nicht gelingt oder der Zug nach der letzten BG des Typs T den SoM durchführt, kann die Positionsmeldung erst an der BG am Hauptsignal gesendet werden. In diesem Fall verzögert sich der Vorgang um einen Signalabschnitt (z. B. „2xOS“ der SBB, Bild 2c). Dadurch muss der Zug bis zum nächsten Hauptsignal in Betriebsart OS oder SR verbleiben. Diese Variante wird von der SBB und auf einigen Strecken der Správa železnic (CZ, Eisenbahninfrastrukturbetreiber in Tschechien) verwendet (Bild 2d).
- SoM mit Definition von TA: Eine Positionsmeldung eines Zuges, der sich innerhalb einer TA befindet, kann als eindeutig und damit zuverlässig angesehen werden, wenn die LRBG des Fahrzeugs eine der Balisen am Hauptsignal oder eine andere Balise innerhalb der TA ist. Das passive Rangieren des Fahrzeugs in eine TA ist nicht abgesichert, sodass ein SoM-Verfahren für die Rückfallebene projektiert werden muss. Bei der ÖBB-Infrastruktur (Österreichische Bundesbahnen) (Bild 2a) fahren die Züge in der Betriebsart OS vor, während sie bei der DB InfraGO (Bild 2b) eine MA in FS im Stillstand erhalten können. Andere Infrastrukturbetreiber wie Banedanmark (DK), SNCF Réseau (FR) projektieren ebenfalls TA.

Mittelfristig könnte die streckenseitige Ausrüstung, wie sie mit dem derzeitigen TA-Konzept verbunden ist, überflüssig werden, sobald alle Fahrzeuge mit CMD-Sensoren ausgestattet sind.

2.1.3 Freisein des Abschnittes zwischen Zugspitze und begrenzendem Hauptsignal

Die dritte Bedingung für ein erfolgreiches SoM betrifft die Infrastruktur. Gleisfreimeldeanlagen liefern Informationen über den Belegungszustand eines Gleisabschnitts. Darüber hinaus erhiel-

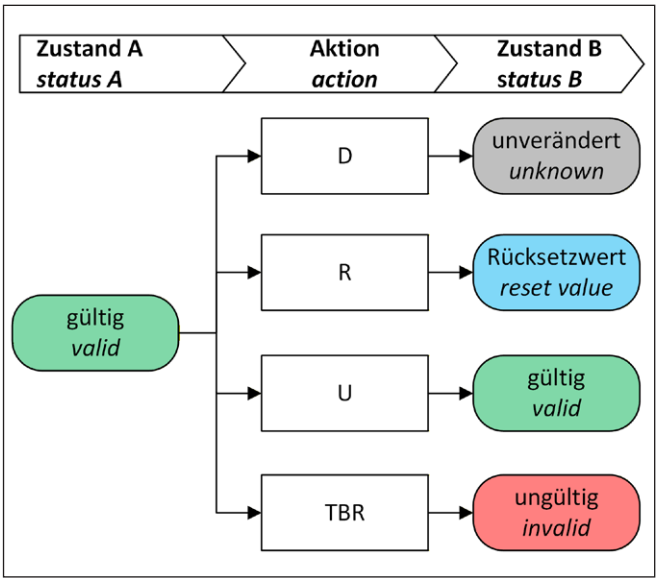


Bild 3: Änderung des Status der Information „gültige Zugposition“
Fig. 3: A change of data status for a valid train position
Quelle / *Source*: J. Simón-Muzás

siding before executing an SoM. In this case, any eventual valid position reported by the vehicle will not be updated to the actual new position [8]. Thus, the onboard equipment merely reporting a valid position is not a sufficient condition. This means, that the train's position must be both valid and unambiguous, so that the RBC can send an MA in Full Supervision (FS) mode along the free track.

According to the functional definition, a Trusted Areas (TA) corresponds to a section of the main track that is delimited by both its main signals on each side. Based on the topological definition, a TA is the track section between the balise groups (BGs) of both the aforementioned main signals. Two fundamental, distinct approaches to handling the ambiguity of a train position have been identified among the analysed IMs:

- Without defining any TA, based on the assumption that any train about to perform an SoM has an ambiguous position. Once the route has been set and locked, the train advances in On Sight (OS) or Staff Responsible (SR) mode at a limited speed. After a short time, the vehicle's antenna reads the first BG on the main track, which then becomes the Last Relevant Balise Group (LRBG) and reports an unambiguous position (e.g. “TAF(OS) > FS” at Schweizerische Bundesbahnen AG (SBB), fig. 2c). If the LRBG is slightly behind the main signal, it will receive an MA FS before approaching the starter signal. Alternately, if this fails or the train is in front of the last Type T BG before the starter signal, the position report can first be sent at the BG by the main signal. In this case, however, the process is delayed by one signal section and the vehicle would receive an MA FS behind the first block signal on the free track (e.g. “2xOS” at SBB, fig. 2c). This requires the train to advance along the switches in OS or SR mode until the next main signal. This variant is employed by the SBB and on some Správa železnic (CZ) lines (fig. 2d).
- With defined TAs. A position report sent by a train located within a TA can be considered unambiguous and therefore reliable, when the vehicle's LRBG is one of the balises at the main signal or any other balise located within the TA. The passive shunting of the vehicle into a TA is not covered, so an SoM procedure for the fallback must be projected. Trains

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

ten die ersten RBC keine Informationen über die Gleisfreimeldung und waren daher nicht in der Lage, das Vorhandensein eines Fahrzeugs zwischen dem vorderen Ende des Zuges, der gerade einen SoM ausführt, und dem begrenzenden Signal festzustellen. Dieser Sachverhalt wird von den EIU mithilfe der Funktionalitäten Track Ahead Free (TAF), Automatic Track Ahead Free (ATAF) [9] oder einigen Varianten der ATAF-Funktion. Sie prüfen diese Bedingung, und wenn sie erfüllt ist, besteht die Möglichkeit, dass das ETCS-System diese Aufgabe übernimmt durch die Übertragung einer MA FS.

Eine TAF-Anforderung ist eine Nachricht, die vom RBC an das Fahrzeug gesendet wird, wenn ein Zug ein SoM ausführt. Diese erscheint auf der Führerraumanzeige (Driver Machine Interface, DMI) innerhalb des TAF-Fensters, einem definierten Bereich einige hundert Meter vor dem jeweiligen Hauptsignal. Der Triebfahrzeugführer (Tf) wird angewiesen, visuell zu prüfen und zu bestätigen, dass der vorausliegende Gleisabschnitt frei ist [9].

Damit der Tf von einer Stelle auf dem Hauptgleis bis zu diesem Bereich vorfahren kann, wird entweder eine MA im Modus OS ausgegeben oder es erfolgt die Weiterfahrt im Modus SR; in der Regel mit einer begrenzten Geschwindigkeit von 40 km/h [4]. Beide Alternativen ermöglichen es dem Zug auch, weiterzufahren und eine BG zu lesen, wodurch bei Implementierungen ohne TA eine gültige und eindeutige Position gemeldet wird. Ein wesentlicher Nachteil dieses manuellen Verfahrens besteht darin, dass es den menschlichen Faktor einbezieht. Tf sind besonders darin geschult, schnell auf Anforderungen wie die Wachsamkeitstaste und Quittierungsfenster bei Transitionen zu reagieren [10]. Dies birgt die Gefahr einer zu schnellen Annahme einer TAF-Anfrage, ohne dass zuvor die Räumung des Gleisabschnitts gründlich überprüft wird. Diese Funktion wird von der ÖBB-Infrastruktur (in Verbindung mit TA), den SBB (ohne TA) und Správa železnic eingesetzt.

Als Alternative zu TAF entbindet ATAF den Tf von der visuellen Bestätigung, dass der vorausliegende Gleisabschnitt frei ist, wodurch das Risiko einer falschen TAF-Bestätigung aufgrund des Routineverhaltens des Tf beseitigt wird [9]. Diese Aufgabe wird somit durch die streckenseitigen Systeme übernommen. Bei dieser Methode wird die gemeldete Position des Zuges mit einer Änderung des Belegungsstatus eines zuvor unbesetzten Gleisfreimeldeabschnitts in Verbindung gebracht. Wenn beides innerhalb eines kurzen Zeitfensters geschieht, kann sichergestellt werden, dass der Zug, mit dem das RBC kommuniziert, derjenige ist, der die Belegung des Gleisfreimeldeabschnitts verursacht hat. Dies ermöglicht es dem RBC, eine MA FS zu erteilen [10]. Die Umsetzung dieser Funktion erfordert eine sorgfältige Abwägung der verschiedenen Faktoren, Entfernungen und Risiken, wie in [9] beschrieben. Die DB InfraGO hat eine automatische Funktion entwickelt, die den menschlichen Faktor eliminiert, aber vom ATAF abweicht.

2.2 Rangieren auf Haupt- und Nebengleisen

Das Szenario „Rangieren auf Haupt- und Nebengleisen" hängt stark von der SoM-Implementierung ab. Das Subset-113 [6] beschreibt drei gefährliche Situationen, die beim Rangieren in Verbindung mit der gemeldeten Position auftreten können.

Auf TA basierende Implementierungen installieren BG des Typs M im Weichenbereich. Sobald eine dieser BG zu einer LRBG für ein rangierendes Fahrzeug wird, weiß das RBC, dass sich das Fahrzeug außerhalb einer TA befindet, sodass die Ausführung eines regulären SoM technisch unmöglich ist. Bei Sicherheitsphilosophien mit langen Durchrutschwegen besteht das Risiko, dass sich ein Fahrzeug auf diesem Gleisabschnitt außerhalb der TA und weit entfernt von diesen BG befinden könnte.

advance in OS mode at ÖBB-Infrastruktur (Österreichische Bundesbahnen, ÖBB) (fig. 2a), while at DB InfraGO (fig. 2b) they can obtain an MA FS when in standstill. Other IMs, such as Banedanmark (DK) and SNCF Réseau (FR) also project TAs.

In the medium term, the trackside equipment associated with the current TA concept could become superfluous or obsolete in the midterm, once all the vehicles have been equipped with CMD sensors.

2.1.3 Track ahead clearance between the front of the train and the starter signal

The third condition relates to trackside. Track detection systems (track circuits or axle counters, depending on the IM) provide information regarding the occupation status of a track section, which typically extends along a main track. Furthermore, most implementations ensure that the RBCs receive limited information, such as signal indications and switch positions, but not from the track detection systems. Track detection systems are employed by the interlocking to check a route's occupation status and all the necessary flank protections. Nevertheless, the RBC may not be capable of deducing the presence of a vehicle between the front end of a train about to execute an SoM and the starter signal (ETCS Stop Marker) since the track is already occupied by the starting vehicle. IMs handle this issue by using the Track Ahead Free (TAF) and Automatic Track Ahead Free (ATAF) functionalities [9] or some variant of the ATAF function. These functions check whether this condition has been met. If so, the ETCS system can fully supervise the train movement by sending an MA FS.

A TAF request is a message sent by the RBC to the ETCS onboard equipment when a train is executing an SoM. It issues a prompt on the Driver Machine Interface (DMI) within the TAF-window, a distance of a few hundred metres to the rear of the main signal established by every IM. The driver is instructed to visually acknowledge and confirm the clearance of the track section ahead [9].

In order to allow the train driver to advance from a point on the main track to this area, either an MA is issued in OS mode or the train continues advancing in SR mode, usually at a restricted speed of 40 km/h [4]. Both options enable the train to proceed and read a BG, thereby reporting a valid and unambiguous position for any implementations without TAs. The main disadvantage of this manual procedure is that it involves the human factor. Train drivers are particularly trained to respond expeditiously to requests such as the vigilance button and acknowledgement windows during transitions [10]. This practice has the potential to expedite the acceptance of a TAF request without first effectively verifying the clearance of the track section. This function is deployed by ÖBB-Infrastruktur (in conjunction with TAs), SBB (without TAs) and Správa železnic.

As an alternative to TAF, ATAF relieves the driver of visually acknowledging the track section ahead, thereby eliminating the risk of an incorrect TAF acknowledgement due to the driver's routine behaviour [9]. Responsibility is therefore shifted to the trackside systems. This method correlates the train's reported position with a change in the occupied status of a previously unoccupied train detection section. It can be assured that the train with which the RBC is communicating is the one that has caused the train detection section to become occupied provided both actions occur within a brief time window of each other. This enables the RBC to issue an

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Umgekehrt müssen Implementierungen ohne TA die im Subset-113 beschriebenen Gefahrensituationen nicht berücksichtigen, da dieser Ansatz auf der Prämisse beruht, dass ein Zug vor einer SoM, einschließlich Rangierfahrten, keine eindeutige Position hat. Rangierfahrten liegen daher in der alleinigen Verantwortung des Stellwerks. Infolgedessen wird die Anzahl der Balisen deutlich verringert.
Bei allen Implementierungen wird der Zugang zu dem mit ETCS ausgerüsteten Bereich, der der Grenze des RBC-Streckenatlas entspricht, mit BG des Typs B2 abgegrenzt. In einigen Ländern übermitteln sie die nationalen Werte. Anders als andere Infrastrukturbetreiber installiert die DB InfraGO eine redundante Balisengruppe, da die Linkinginformation in der Betriebsart Shunting (SH) nicht ausgewertet wird (Bild 2b).

3 Überblick über die nationalen Implementierungen

Die Unterschiede zwischen den nationalen Umsetzungen dieses ETCS-Verfahrens lassen sich nach den fahrzeugseitigen und streckenseitigen Bedingungen kategorisieren, wie in Tab. 2 dargestellt. Diese Tab. veranschaulicht auch die Vor- und Nachteile der einzelnen Implementierungen, insbesondere im Hinblick auf das Vorhandensein oder das Fehlen von TA.
Die Rückfallebene ist ein wichtiger Aspekt, der im SoM-Verfahren zu berücksichtigen ist. Die meisten Infrastrukturbetreiber erteilen einen schriftlichen Befehl, nachdem der Tf im Modus SR ohne technische Unterstützung weiterfahren darf. Allerdings besteht insbesondere bei ETCS L2-Implementierungen ohne Lichtsignale die Gefahr, dass der schriftliche Befehl an den falschen Zug gegeben wird, für den keine Fahrstraße eingestellt wurde. Dennoch verfolgen einige EIU einen technischen Ansatz zur Absicherung dieses Verfahrens.
Die DB InfraGO verwendet eine auf nationaler Ebene entwickelte Funktion „SR-Autorisierung mit Balisenliste", die die in der ERTMS-Users Group Richtlinie beschriebene Empfehlung für die Verringerung von Gefahrensituationen umsetzt [3]. In der Rückfallebene sendet das RBC eine „SR-Autorisierung" mit einer Balisenliste an den Zug, basierend auf den in der Zugnummernmeldeanlage (ZN-Anlage) verfügbaren Informationen, die die Zugnummer und die Gleisnummer

		streckenseitig	
		manuell (TAF)	automatisch (ATAF o. Ä.)
fahrzeugseitig	ohne Definition von TA	SBB Správa železnic	N/A
		+ geringere Anzahl an Balisen + geringere Planungskomplexität + SoM auf der Rückfallebene ähnlich zu der Standard-SoM-Prozedur + Überwachung von Rangierbewegungen durch ETCS nicht notwendig – menschlicher Faktor stark involviert – MA FS im Stillstand nicht möglich – in bestimmten Situationen Aufstartgeschwindigkeit durch Betriebsarten OS o. SR begrenzt → längere Fahrstraßenbelegungszeiten – Ausfahrten außerhalb einer TA (Hauptgleis) technisch möglich o TAF-Funktion zusammen mit den Betriebsarten OS o. SR konsequent	
	mit Definition von TA	ÖBB-Infrastruktur	DB InfraGO
		+ menschlicher Faktor → besonders bei ATAF o. Ä. + TA + MA FS im Stillstand möglich → ATAF o. Ä. + TA + in bestimmten Situationen Aufstartgeschwindigkeit nur durch max. Geschwindigkeit der Fahrstraße → kürzere Fahrstraßenbelegungszeiten + Risiken i. V. m. Rangierbewegungen technisch minimiert + reguläres Aufstarten außerhalb einer TA (Hauptgleis) technisch unmöglich – größere Anzahl an Balisen erforderlich – höhere Planungskomplexität – Berücksichtigung von Szenarien an TA-Grenzen o Investition für ATAF sinnvoll → menschlicher Faktor begrenzt	

Tab. 2: Vor- und Nachteile der nationalen ETCS L2-Umsetzung entsprechend den fahrzeug- und streckenseitigen Funktionen

MA FS [10]. Implementing this function requires careful consideration of the various factors, distances and risks involved, as described in [9]. DB InfraGO has developed an automatic function that eliminates the human factor, but diverges from ATAF.

2.2 Shunting on main tracks and sidings

The "Shunting on main tracks and sidings" scenario strongly depends on the SoM implementation. Subset-113 [6] describes three hazardous situations related to the reported position that can occur when shunting.
Implementations based on TAs install Type M BGs in railway throats or interlocking areas. Once one of these BGs becomes a LRBG for a shunting vehicle, then the RBC knows that the vehicle is located outside a TA, meaning that the execution of a regular SoM is technically impossible. National philosophies with long overlaps present a risk that a vehicle could perform an SoM on this section outside the TA and far from these BGs.
Conversely, implementations without any TAs do not need to consider the hazardous situations described in Subset-113, as this approach is based on the premise that a train cannot have an unambiguous position prior to an SoM, including any shunting movements. Shunting movements therefore fall under the sole responsibility of the interlocking. Consequently, the number of balises is notably reduced.
In all the implementations, the access to an ETCS-equipped area corresponding to the border of the RBC route map is delimited with Type B2 BGs. In some countries, they transmit the national values. In addition to other IMs, DB InfraGO also installs a redundant balise, as the linking information is not processed in Shunting (SH) mode (fig. 2b).

3 An overview of the national implementations

The differences between the national implementations of this ETCS procedure can be categorised according to the onboard

		trackside	
		manual (TAF)	automatic (ATAF or similar)
onboard	without definition of TA	SBB Správa železnic	N/A
		+ lesser number of balises + lower planing complexity + fallback SoM procedure similar to standard SoM + no need to supervise shunting movements by ETCS – human factor strongly involved – MA FS at standstill not possible – starting speed restricted by modes OS (SBB) or SR (Správa železnic) in some situations → larger route occupation times – SoM outside TA (outside main tracks) technically possible o TAF function in conjunction with mode OS or SR consequent	
	with definition of TA	ÖBB-Infrastruktur	DB InfraGO
		+ limited human factor involved → especially ATAF or similar + TA + MA FS at standstill possible → ATAF or similar + TA + starting speed limited only by track speed in some situations → shorter route occupation times + hazards associated to shunting technically mitigated (Subset-113) + regular SoM outside TA (outside main tracks) technically not possible – greater number of balises required – higher planning complexity – scenarios at TA borders must be considered o ATAF investment fully meaningful → reduction of the human factor	

Tab. 2: Advantages and disadvantages of ETCS L2 national implementations according to the adopted onboard and trackside functions Quelle / *Source:* [4]

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

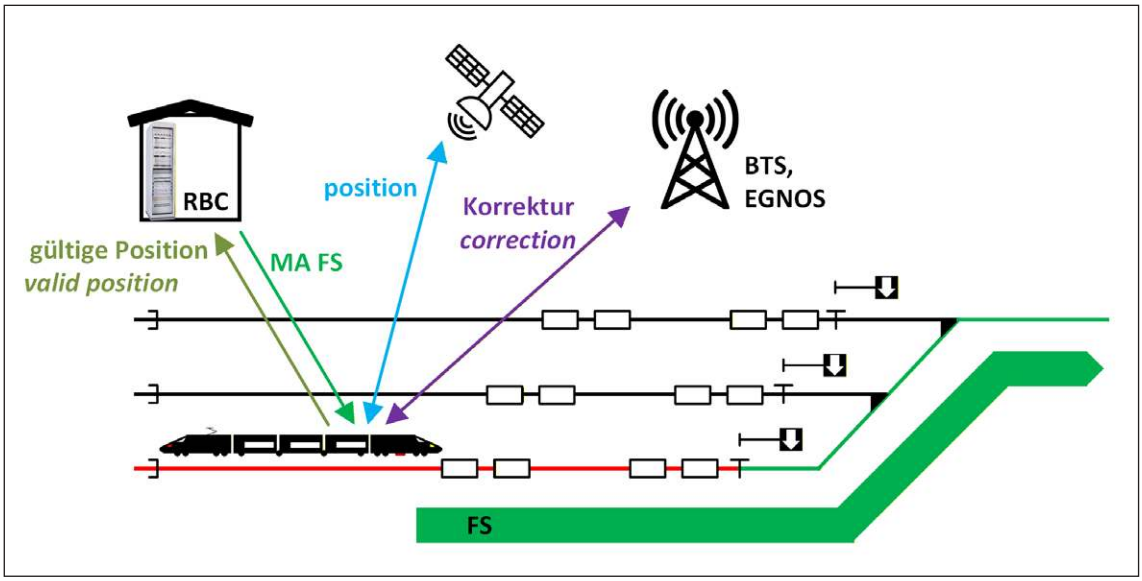


Bild 4: „Smart SR"-Konzept entwickelt von ANSFISA]
Fig. 4: "Smart SR" concept developed by ANSFISA
Quelle / *Source*: [12]

umfassen. Diese Funktion basiert auf einer zusätzlichen Schnittstelle zwischen dem RBC und der ZN-Anlage.

Die DB InfraGO implementiert dies standardmäßig auf allen Hauptgleisen, auf denen Züge SoM ausführen können. Diese Funktion hat zudem das Ziel, das Erteilen von schriftlichen Befehlen für SoM zu vermeiden. Einige Infrastrukturbetreiber planen den Einsatz dieses Systems, allerdings nur in sehr begrenztem Umfang, in der Regel in Bahnhöfen mit vielen Gleisen für den Personenverkehr, wo die oben genannten Risiken größer sind.

Die Balisenliste ist eine technische Maßnahme, die verhindert, dass die „SR-Authorisierung" an den falschen Zug gesendet wird. Es besteht das Risiko, dass der Fahrdienstleiter das Gleis des aufstartenden Zuges verwechselt und der Tf die DMI-Meldung und Signalbezeichnung übersieht. Der Zug fährt im SR-Modus auf dem Hauptgleis und liest die nächste folgende BG. Das Fahrzeuggerät vergleicht diese mit der empfangenen Balisenliste. Wenn eine gelesene BG nicht mit der erwarteten BG aus der Balisenliste übereinstimmt, führt der Zug eine Zwangsbremsung aus. Die große Anzahl von Balisen stellt sicher, dass jede Art von Zug, der von einem beliebigen Punkt auf dem Hauptgleis startet, vor dem ETCS-Gefahrpunkt zum Stillstand gebracht werden kann. Sie dienen auch dazu, dem RBC so schnell wie möglich eine eindeutige Position zu melden, damit der Zug schnell eine MA in FS erhalten kann. Außerdem können die technischen Grenzen der Spezifikation in Bezug auf die maximale Anzahl von 15 Balisen-ID in einer Balisenliste schnell erreicht werden [11].

Mehrere satellitengestützte Lösungen für die Fahrzeugortung werden seit mindestens 25 Jahren vorgeschlagen, wie aus zahlreichen Veröffentlichungen hervorgeht. Die italienische Eisenbahnbehörde ANSFISA entwickelt eine Variante namens „smart SR". Dieses Konzept ist in Bild 4 dargestellt. Ein Zug ohne gültige und eindeutige Position im Stillstand wird mithilfe eines Echtzeit-Kinematiksystems geortet, das auf einem hochpräzisen satellitengestützten globalen Navigationssatellitensystem (Global Navigation Satellite System, GNSS) wie EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) basiert. Sie bieten eine Genauigkeit von wenigen Zentimetern in Echtzeit [12, 13]. Auch seitens der DB InfraGO AG wurde in Zusammenarbeit mit mehreren Partnern im Rahmen des Entwicklungsprojektes CLUG (Certifiable Localisation Unit with GNSS) an einer auf GNSS basierenden Lösung für die Fahrzeugortung gearbeitet [14]. Dieser Ansatz könnte zukünftig eine wirksame Lösung sein, um die Anzahl der Balisen zu reduzieren.

and trackside conditions shown in tab. 2. This table also illustrates the advantages and disadvantages of each implementation, particularly with regard to the presence or absence of TAs.

The fallback is an important aspect to consider in the SoM procedure. Most IMs issue a written order, after which the train driver is permitted to proceed in SR mode without any technical supporting system in place. However, there is a risk, especially in ETCS L2 implementations without any lineside signals, that this written instruction could be given to the wrong train without a set route. Nevertheless, some IMs pursue a technical approach to secure this procedure.

DB InfraGO employs a nationally developed "SR authorisation with balise list" function that implements the recommendation for mitigating hazardous scenarios stated in the ERTMS Users Group guideline [3]. The RBC sends the train an "SR authorisation" with a balise list based on the information available in the Track Number Reporting System (TNRS) comprising the train number and the track number in the fallback. This function is based on an additional interface between the RBC and the TNRS. The DB InfraGO implements this as a standard basis on all the main tracks where trains can execute an SoM. Furthermore, this function has the objective of avoiding the issuance of a written order for the SoM. Some IMs plan to employ this system to a very limited extent, usually in stations with many passenger tracks, where the aforementioned risks are greater.

The balise list is a technical measure that prevents the "SR authorisation" from being sent to the wrong train. There is a risk that a dispatcher will confuse the track of the departing train for another and that the train conductor will overlook the DMI message and signal designation. The train advances along the main track in SR mode until it reads the next BG. The onboard equipment compares this with the received balise list. If the read balise does not match the expected balise, the train is subjected to train trip. The large number of balises ensures that any type of train starting from any point on the main track can be brought to a halt before the ETCS danger point. The balises also serve in reporting an unambiguous position to the RBC as soon as possible so that the train can receive an MA FS more rapidly. Furthermore, the technical

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

4 Fazit und Ausblick

Obwohl es sich bei ETCS um ein europäisch standardisiertes Zugbeeinflussungssystem handelt, unterscheiden sich die einzelnen nationalen Implementierungen erheblich voneinander. Dies wird exemplarisch bei dem Betriebsszenario SoM deutlich. Durch den technologischen Fortschritt mit Systemen wie CMD oder satellitengestützter Fahrzeugortung ist zukünftig eine deutlich geringere Anzahl an erforderlichen Balisen denkbar. Im Rahmen von weiterführenden Forschungsarbeiten an der TU Dresden werden derzeit die Möglichkeiten zur Harmonisierung von ETCS in Europa sowie zur Vereinfachung konkret in Deutschland untersucht. ■

limits of the specification relating to the maximum number of balises can be easily reached on a main track, as the maximum number of balise IDs permitted in a "balise list" is 15 [11].
Several satellite-based solutions have been suggested for at least 25 years, as many publications from that time reveal. The Italian ANSFISA railway authority is developing a variant called "Smart SR". This concept is illustrated in fig. 4. A train at a standstill without a valid and unambiguous position is located using a Real Time Kinematics (RTK) system based on high-precision Global Navigation Satellite System (GNSS) satellite positioning, such as EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service). These solutions offer a centimetre-level degree of accuracy in real time [12, 13]. The DB InfraGO AG has also been working, in collaboration with several partners as part of the CLUG (Certifiable Localisation Unit with GNSS) development project, on a GNSS-based solution for vehicle tracking [14]. This approach could constitute an effective solution to reducing the number of balises in the future.

4 Conclusions

Although ETCS is a European standardised train control system, the individual national implementations differ considerably from one another. This is particularly evident in the SoM operating scenario, amongst others. Technological advances with systems such as CMD or satellite-based vehicle location make it conceivable that significantly fewer balises will be required in the future. The possibilities for harmonising ETCS in Europe and simplifying it specifically in Germany are currently being investigated as part of further research work at TU Dresden. ■

LITERATUR | LITERATURE

[1] Lancien, D.; Garelli, P.: „Towards a New Concept in Railway Command & Control: From ASTREE to ETCS". IFAC Transportation Systems, 1994
[2] European Union Agency for Railways (ERA): „ERTMS/ETCS Subset-026. System Requirements Specification. Chapters 3‚Principles', 4‚Modes and Transitions', and 5‚Procedures'". Issue 4.0.0, 2023
[3] ERTMS Users Group: „Engineering Guideline Nr. 68. Start of Mission in L2 & L3 (B3)". V3-, 2024
[4] Simón-Muzás, J.: „Deployment of ETCS Positioning Balises in different Countries". Master's Thesis, TU Dresden, 2025. https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-1008537
[5] Pachl, J.: „Besonderheiten ausländischer Eisenbahnbetriebsverfahren". Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019
[6] European Union Agency for Railways (ERA): „ERTMS/ETCS Subset-113. ETCS Hazard Log". Issue 1.5.0, 2022
[7] European Commission: „Commission Implementing Regulation (EU) 2023/1695 of 10 August 2023 on the technical specification for interoperability relating to the control-command and signalling subsystems of the rail system in the European Union and repealing Regulation (EU) 2016/919. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2023/1695/oj, Accessed: 30/01/2026
[8] Alexander, J.: „ETCS Bites Back – 34 (Chapter 5 - SoM - Part 1)". 24/07/2023. https://www.youtube.com/watch?v=hZca7yMxb-Y, Accessed: 29/01/2026
[9] ERTMS Users Group: „Engineering Guideline Nr. 69. Automatic Track Ahead Free (B3)". V4-, 2024
[10] Alexander, J.: „ETCS Bites Back – 46 (Track Ahead Free and ATAF)". 05/04/2024. https://www.youtube.com/watch?v=2idAwFYufW0, Accessed: 30/01/2026
[11] European Union Agency for Railways (ERA): „ERTMS/ETCS Subset-040. Dimensioning and Engineering rules". Issue 3.4.0, 2015
[12] Tabarrini, A.: „Start of Mission in ERTMS Area: Issues and Possible Solutions". Agenzia nazionale per la sicurezza delle ferrovie e delle infrastrutture stradali e autostradali (ANSFISA). 13th ERA Budapest Workshop to European Union Agency for Railways (ERA), 16/10/2025
[13] A. Tabarrini to Juan Simón-Muzás, E-Mail: „Start of Mission: Questions and a Request. Juan Simón-Muzás – TU Dresden". Answer received on the 10/11/2025
[14] Deutsche Bahn AG: „Lokalisierung von Zügen auf Basis von Satellitennavigation: die Projekte CLUG und CLUG 2.0". https://digitale-schiene-deutschland.de/de/projekte/CLUG#tab-Projektbeschreibung

AUTOREN | AUTHORS

Juan Simón-Muzás, M. Sc.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter / *Research Assistant*
TU Dresden
Anschrift / *Address*: Hettnerstraße 3, D-01062 Dresden
E-Mail: juan.simon_muzas@tu-dresden.de

Dipl.-Ing. Julia Kalkreiber
Technical Lead Digitale Planung / *Technical Lead Digital design*
DB InfraGO AG
Anschrift / *Address*: Schweizer Straße 3b, D-01069 Dresden
E-Mail: julia.kalkreiber@deutschebahn.com

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Generische Object Controller Plattform: Synergieeffekte über den gesamten Lebenszyklus

A generic Object Controller platform: synergy effects throughout the entire lifecycle

Florian Einböck

Die weltweite Bahninfrastruktur steht vor einer tiefgreifenden Modernisierungswelle. Alternde Stellwerksgenerationen, steigende Kapazitätsanforderungen, zunehmender Kostendruck und die Notwendigkeit interoperabler, cybersicherer Systeme treffen auf eine fragmentierte Herstellerlandschaft mit herstellerspezifischen Architekturen. Diese Ausgangssituation erzwingt nicht nur den Austausch veralteter Komponenten, sondern eröffnet zugleich die Chance für einen grundlegenden Paradigmenwechsel in der Architektur der Leit- und Sicherungstechnik (LST).

1 Der Weg zur dezentralen digitalen Architektur

Aktuelle Modernisierungsprojekte in der Bahninfrastruktur nutzen fortschrittliche Möglichkeiten für tiefgreifende Neuerungen in der LST. Die Grundlage dafür bildet der Aufbau einer herstellerunabhängigen Architektur auf Basis standardisierter Schnittstellen, in der die Stellwerkslogik zentralisiert betrieben wird und die Feldelemente über IP-basierte Netzwerke durch dezentrale Object Controller (OC) angesteuert werden. Dieser Beitrag erläutert anhand dreier Praxisbeispiele, wie sich unterschiedliche Einsatzszenarien mit einer generischen OC-Plattform umsetzen lassen, die mehrere gleiche oder unterschiedliche Feldelemente auf einer gemeinsamen Steuerungsbasis bündelt. Diese Use Cases zeigen das Potenzial dieses Ansatzes für Volumenreduktion, Skalierbarkeit und Synergieeffekte über die gesamte Lebensdauer der Anlage.

Zwei zentrale Entwicklungen bilden die Grundlage für diese Beispiele: Einerseits hat sich mit EULYNX ein ausgereifter Standard für die Digitalisierung der Signaltechnik etabliert. Die aktuelle EULYNX Baseline 4 definiert standardisierte Schnittstellen zwischen Stellwerken und Feldelementen, die eine herstellerübergreifende Interoperabilität ermöglichen. Andererseits vollzieht sich ein architektonischer Wandel zur Zentralisierung von Stellwerken in Datenzentren, von wo aus dezentral angeordnete, intelligente Feldelemente über IP-basierte Netzwerke angesteuert werden. OC fungieren dabei als technologische Enabler, die beide Welten – Standardisierung und dezentrale Architektur – miteinander verbinden.

Die Vorteile dieser Entwicklung lassen sich quantitativ belegen: Die Studie „Digitale Schiene Deutschland" aus dem Jahr 2024 prognostiziert Kapazitätssteigerungen von bis zu 15 % durch den Einsatz moderner digitaler Infrastrukturen [1]. Darüber hinaus ermöglicht die Standardisierung eine Reduktion der Life-Cycle-Kosten und vermeidet Vendor-Lock-in-Situationen, die bis heute häufig zur Abhängigkeit von einzelnen Systemlieferanten führten.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie diese Vorteile in der Praxis realisiert werden können und welche technischen Architekturen sowie Implementierungsstrategien dafür erforderlich sind.

The world's railway infrastructure is undergoing a profound wave of modernisation. Ageing generations of interlockings, rising capacity requirements, increasing cost pressures and the need for interoperable, cyber-secure systems are converging with a fragmented supplier landscape of proprietary architectures. This situation not only necessitates the replacement of outdated components, but also creates an opportunity for a fundamental paradigm shift in the architecture of control command and signalling (CCS) architecture.

1 The path to a decentralised digital architecture

Current modernisation projects in railway infrastructure are exploiting advanced possibilities for far-reaching innovations in CCS technology. The foundation is a supplier-independent architecture based on standardised interfaces, in which interlocking logic is operated centrally and field elements are controlled via IP-based networks through decentralised Object Controllers (OC). This article uses three practical examples to explain how different deployment scenarios can be implemented using a generic OC platform that consolidates several identical or different field elements on a shared control basis. These use cases demonstrate the potential of this approach for volume reduction, scalability and synergy effects across the entire service life of the installation.

Two key developments form the basis for these examples. On the one hand, EULYNX has established itself as a mature standard for the digitalisation of signalling technology. The current EULYNX Baseline 4 defines standardised interfaces between interlockings and field elements, thus enabling cross-supplier interoperability. On the other hand, an architectural shift is underway towards the centralisation of interlockings in data centres, from which decentralised, intelligent field elements are controlled via IP-based networks. OC act as technological enablers, connecting both worlds, i.e. standardisation and decentralised architecture.

The advantages of this development can be quantified: the "Digitale Schiene Deutschland" study of 2024 projects capacity increases of up to 15 % through the use of modern digital infrastructures [1]. Furthermore, standardisation enables a reduction in lifecycle costs and avoids vendor lock-in situations that have frequently led to dependencies on individual system suppliers in the past.

Against this background, the question arises as to how these advantages can be realised in practice and what technical architectures and implementation strategies are required.

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

2 Plattform-Strategie für moderne Object Controller

Die erfolgreiche Umsetzung dezentraler digitaler Architekturen erfordert ausgereifte technologische Grundlagen. Frauscher engagiert sich seit 2002 aktiv in Standardisierungsinitiativen und Arbeitsgruppen und hat über zwei Jahrzehnte entsprechendes Know-how für die Integration dieser Systeme aufgebaut. Daraus ergibt sich umfangreiche Expertise in Standardisierung, Schnittstellen-Integration und safety-relevanter Softwareentwicklung. Heute vereint die Frauscher Advanced Platform FAdP die vierte Generation entsprechender Hardware- und Softwareentwicklungen und verbindet bewährte Zuverlässigkeit mit den Anforderungen moderner EULYNX-konformer Architekturen.

2.1 Evolutionärer Weg zur FAdP

Der evolutionäre Entwicklungspfad begann mit dem Frauscher Advanced Counter FadC als Achszählsystem mit Relais- und Software-Schnittstellen, die die Integration in alle wichtigen Stellwerksplattformen ermöglichen. Ein entscheidender Schritt war die Weiterentwicklung der COM-Baugruppe, die serielle Kommunikation ermöglichte und den FadC EULYNX-fähig machte.

Als EULYNX Early Adopter ab 2019 (Baseline 2) sammelte Frauscher wertvolle Erfahrungen mit frühen Feldimplementierungen bei den Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) und der Deutschen Bahn AG (DB). Der nächste logische Entwicklungsschritt bestand in der Implementierung von Baseline 3.5, deren Spezifikationen sich auch gut mit jenen aus der NeuPro-Initiative decken, wie sich bei einem Integrationstest bei der DB für TDS zeigte [2].

Erkenntnisse aus diesen Entwicklungs- und Implementierungsschritten wurden schließlich in der FAdP zusammengefasst. Sie bildet heute die technologische Basis für die Ansteuerung unterschiedlicher Feldelemente wie Weichenantriebe, Gleisabschnitte und I/O (Input / Output). Das Plattform-Konzept bietet dabei besondere Vorteile: Rund 70 % der Komponenten für verschiedene Feldelemente sind identisch, während nur 30 % anwendungsspezifisch sind. Dieser modulare Aufbau aus Applikationsunit sowie generischen Einheiten für Konnektivität und Power Protection ermöglicht eine drastische Reduktion der Time-to-Market sowie effizientere Wartung durch systemübergreifende Software-Updates.

2.2 FAdP: Eine generische Plattform für multiple Anwendungen

Die FAdP unterstützt verschiedene OC-Typen: FAdP Point ermöglicht die SIL 4-konforme (Safety Integrity Level, SIL) Ansteuerung von Weichen und unterstützt Weichenantriebe unterschiedlicher Hersteller, beispielsweise über standardisierte 4-Wire- und 7-Wire-Schnittstellen. FAdP TDS übernimmt die Achszählung. FAdP IO stellt acht generische Input- und Output-Funktionen für verschiedene Use Cases bereit. „Multi-Element-Controller" bezeichnet die Steuerung mehrerer Instanzen desselben Objekttyps, während „Multi-Type Controller" unterschiedliche Objekttypen innerhalb eines Systems steuern.

Ein weiterer wichtiger Synergieeffekt wird durch das PDI-Stacking erzielt, mit dem sich gesammelte Datenpakete übertragen lassen. Mehrere OC können über eine gemeinsame RaSTA-Verbindung an das Stellwerk angebunden werden, wodurch separate physische und logische Schnittstellen pro OC entfallen. Im Falle von FAdP Point ist die Schnittstelle nach einheitlichen Prinzipien standardisiert und verbindet den OC und das physische Objekt, den Weichenantrieb. Dies ermöglicht beispielsweise die Integration von Weichenantrieben unterschiedlicher Hersteller über dieselbe Schnittstellenlogik.

Die EULYNX-Schnittstellen SCI, SDI, SMI und SSI sind funktional getrennt implementiert, was unabhängige Life-Cycle-Strategien für sicherheitskritische und wartungsintensive Systemkomponenten erlaubt.

2 A platform strategy for modern Object Controllers

The successful implementation of decentralised digital architectures requires mature technological foundations. Frauscher Sensor Technology has been actively engaged in standardisation initiatives and working groups since 2002, building up more than two decades of expertise in the integration of these systems. This translates into an extensive knowledge of standardisation, interface integration and safety-relevant software development. Today, the Frauscher Advanced Platform FAdP combines the fourth generation of corresponding hardware and software developments, uniting proven reliability with the requirements of modern EULYNX-compliant architectures.

2.1 An evolutionary path to the FAdP

The evolutionary development path began with the Frauscher Advanced Counter FadC as an axle counting system with relay and software interfaces enabling integration into all the major interlocking platforms. A decisive step involved the further development of the COM module, which enabled serial communication and made the FadC EULYNX-ready.

As a EULYNX early adopter from 2019 onwards (Baseline 2), Frauscher Sensor Technology gained valuable experience with early field implementations at Österreichische Bundesbahnen (ÖBB) and Deutsche Bahn AG (DB). The next logical development step was the implementation of Baseline 3.5, whose specifications also aligned well with those from the NeuPro initiative, as demonstrated during an integration test at DB for TDS [2].

The insights from these development and implementation steps were ultimately consolidated in the FAdP, which now constitutes the technological basis for controlling different field elements such as point machines, track sections and I/O (input / output). The platform concept offers particular advantages: approximately 70 % of the components for different field elements are identical, while only 30 % are application-specific. This modular design comprising an application unit and generic units for connectivity and power protection enables a significant reduction in time-to-market as well as more efficient maintenance through cross-system software updates.

2.2 FAdP: a generic platform for multiple applications

The Frauscher Advanced Platform FAdP supports different OC types: FAdP Point enables SIL 4-compliant (Safety Integrity Level, SIL) control of points and supports point machines from different manufacturers, for example via standardised 4-wire and 7-wire interfaces. FAdP TDS handles axle counting. FAdP IO provides eight generic input and output functions for various use cases. A "multi-element controller" refers to the control of multiple instances of the same object type, while a "multi-type controller" controls different object types within one system.

A further important synergistic effect is achieved through PDI stacking, which enables the transmission of consolidated data packets. Multiple OC can be connected to the interlocking via a shared RaSTA connection, thereby eliminating the need for separate physical and logical interfaces per OC. In the case of FAdP Point, the interface is standardised according to uniform principles and connects the OC to the physical object, i.e. the point machine. This enables, for example, the integration of point machines from different manufacturers via the same interface logic.

The EULYNX SCI, SDI, SMI and SSI interfaces are implemented as functionally separate, which permits independent lifecycle strategies for safety-critical and maintenance-intensive system components.

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

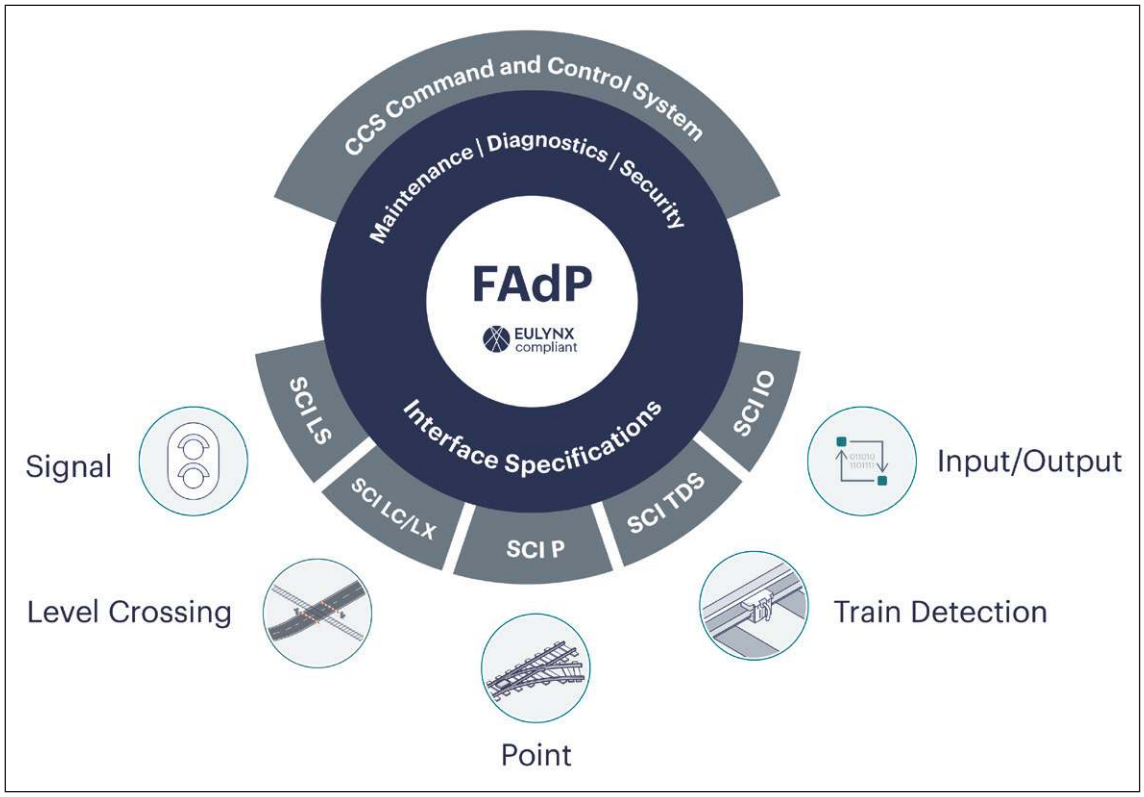


Bild 1: FAdP – Generische Plattform für verschiedene OC
Fig. 1: FAdP – A generic platform for multiple OC

2.3 Safety und Security

Die zunehmende Vernetzung von Bahninfrastrukturen über offene Netzwerke stellt neue Anforderungen an die Branche. Das gilt auch für die Cybersecurity-Architektur beim Einsatz von OC. Während Safety-Funktionen auf Langlebigkeit und Wartungsarmut über eine Lebensdauer von 30 Jahren und mehr ausgelegt sind, erfordert IT-Security agile, dynamische Updates in deutlich kürzeren Intervallen. Diese unterschiedlichen Anforderungsprofile bedingen eine strikte architektonische Trennung beider Domänen.

Das FAdP-Plattformkonzept realisiert diese Trennung durch eine modulare Connectivity Unit, die als dedizierte Security-Komponente fungiert. Frauscher Connect ermöglicht dabei eine Kategorie-3-Netzwerkkommunikation gemäß EN 50159 und etabliert eine klare Schichtentrennung zwischen safety-relevanter Signalverarbeitung und security-relevanter Netzwerkkommunikation [3]. Während die Application Units für Point Control, Train Detection oder I/O-Funktionen über ihre gesamte Lebensdauer hinweg nahezu unverändert bleiben können, lassen sich Security-Updates und nicht-sicherheitsrelevante Protokollanpassungen ausschließlich in der Connectivity Unit durchführen – ohne Eingriff in die SIL 4-zertifizierten Safety-Komponenten.

Der Plattform-Ansatz vereinfacht das Life-Cycle-Management deutlich: Softwareupdates für Security-Funktionen können über verschiedene OC-Typen hinweg ausgerollt werden, da die zugrundeliegende Connectivity-Architektur für Point-, TDS- und IO-Controller identisch ist.

3 Praxisbeispiele: Drei Use Cases für dezentrale Architekturen

Die folgenden drei Use Cases demonstrieren unterschiedliche Implementierungsstrategien für OC in realen Projektkontexten. Jedes dieser Beispiele adressiert spezifische betriebliche Anforderungen und zeigt, wie die FAdP Flexibilität und Synergien über verschiedene Anwendungsszenarien hinweg ermöglicht.

2.3 Safety and security

The increasing interconnection of railway infrastructures via open networks is placing new demands on the industry. This applies equally to the cybersecurity architecture when deploying OC. While safety functions are designed for longevity and low maintenance over a service life of 30 years or more, IT security requires agile, dynamic updates at considerably shorter intervals. These differing requirement profiles necessitate the strict architectural separation of both domains.

The FAdP platform concept realises this separation through a modular connectivity unit that acts as a dedicated security component. Frauscher Connect enables Category 3 network communication in accordance with EN 50159 and establishes a clear layer separation between safety-relevant signal processing and security-relevant network communication [3]. While the application units for point control, train detection or I/O functions can remain virtually unchanged throughout their entire service life, security updates and non-safety protocol adaptations can be carried out exclusively within the connectivity unit, i.e. without any intervention in the SIL 4-certified safety components.

The platform approach significantly simplifies lifecycle management: software updates for security functions can be rolled out across different OC types, as the underlying connectivity architecture is identical for point, TDS and IO controllers.

3 Practical examples: three use cases for decentralised architectures

The following three use cases demonstrate different implementation strategies for OC in real project contexts. Each example addresses specific operating requirements and illustrates how the FAdP delivers flexibility and synergies across different application scenarios.

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

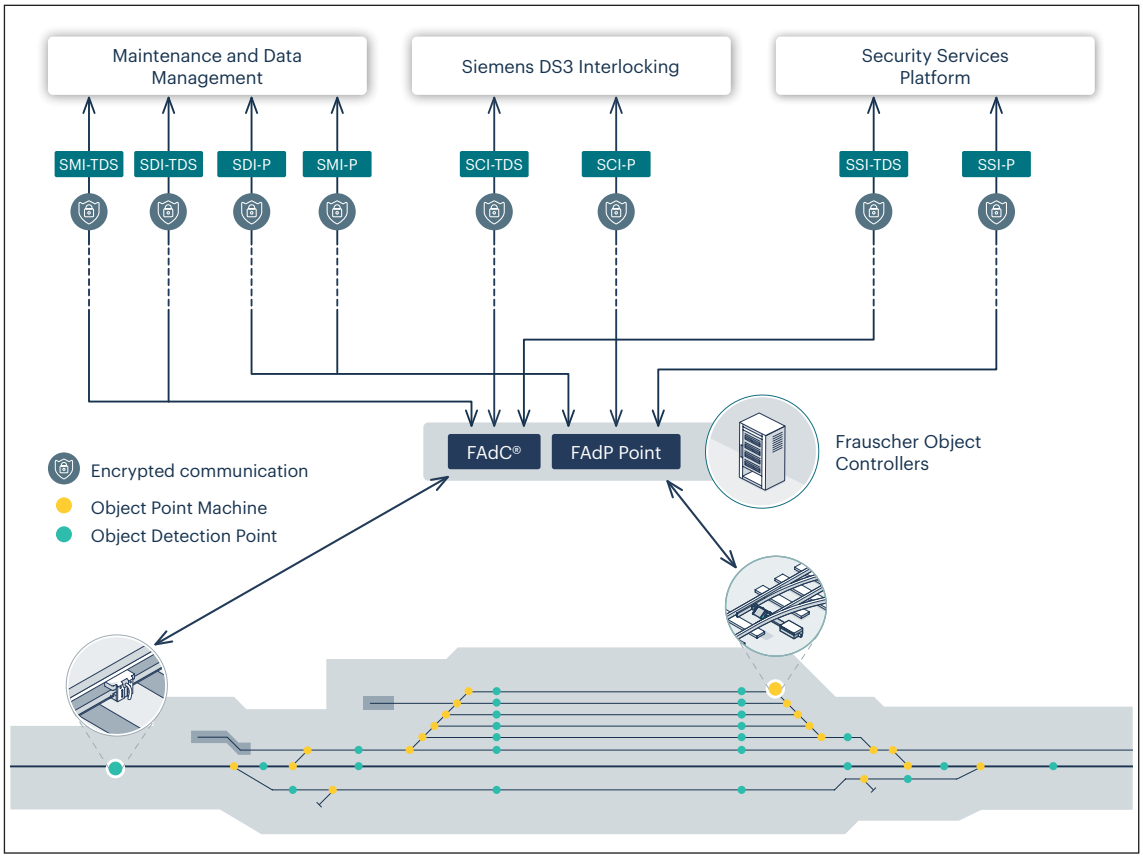


Bild 2: OC und Schnittstellenarchitektur Digirail-Projekt Finnland
Fig. 2: The OC and interface architecture in the Digirail Project Finland

3.1 Zukunftsweisender Use Case mit dezentraler Architektur: Finnland Digirail

Das Digirail-Projekt der Finnish Transport Infrastructure Agency (FTIA) markiert einen wichtigen Meilenstein in der europäischen Signaltechnik: Erstmals erfolgte die Ausschreibung von OC separat vom zentralen Sicherungssystem. Frauscher Sensortechnik liefert in Zusammenarbeit mit Mipro Oy die EULYNX-konformen OC für Point und Train Detection. Die Integration der beiden OC-Typen mit dem Siemens-Stellwerk DS3 wurde über die standardisierten EULYNX-Schnittstellen SCI-P und SCI-TDS realisiert. Ein Konsortium aus Mipro, Frauscher, Siemens, Relesoft und WSP setzte die Systemintegration um [4].

Die ersten Integrationstests fanden zwischen Oktober und November 2025 im Rail Training Centre in Kouvola unter Realbedingungen statt. Nach Aktivierung und Konfiguration lieferten die FAdP Point unmittelbar präzise Ergebnisse. Verschiedene Weichenantriebstypen von Siemens konnten ohne Schwierigkeiten gesteuert werden, und die Endlagenüberwachung der Weiche funktionierte unter Realbedingungen wie spezifiziert. Der Testumfang umfasste neben der Funktionsvalidierung auch die Implementierung verschlüsselter Kommunikationskanäle über SSI.

Die Projekterfahrungen verdeutlichen, dass eine erfolgreiche Multi-Vendor-Integration substanzielle Expertise auf Betreiberseite sowie enge Zusammenarbeit aller Stakeholder erfordert. Zentrale Herausforderungen ergeben sich aus der präzisen Abstimmung zur Verwendung und Parametrisierung der Schnittstellen, der Subsystem-Abstimmung und der SSI-Implementierung.

3.2 Integration von Multi-Type Object Controllern

Der Trend zur dezentralen, digitalen Architektur eröffnet auch neue Möglichkeiten hinsichtlich der physischen Anordnung von OC. Während Train-Detection-Systeme klassischerweise separat behandelt

3.1 A forward-looking use case with a decentralised architecture: Finland Digirail

The Digirail project of the Finnish Transport Infrastructure Agency (FTIA) marks an important milestone in European signalling technology: for the first time, OC have been tendered separately from the central safety system. Frauscher Sensor Technology is supplying EULYNX-compliant OC for point and train detection as part of Mipro Oy Object Controller project delivery. The integration of the two OC types with the Siemens DS3 interlocking has been achieved via the standardised EULYNX SCI-P and SCI-TDS interfaces. A team comprising Mipro, Frauscher Sensor Technology, Siemens, Relesoft and WSP was conducting the system Integration [4].

The first integration tests took place under real-world conditions at the Rail Training Centre in Kouvola between October and November 2025. The FAdP point units immediately delivered precise results following their commissioning and configuration. Various Siemens point machine types were able to be controlled without any difficulty and the point end-position monitoring functioned as specified. In addition to the functional validation, the test scope also included the implementation of encrypted communication channels via SSI.

The project experience confirms that successful multi-vendor integration requires substantial expertise on the operator side as well as close collaboration between all the stakeholders. Key challenges arise from the precise alignment on the use and parameterisation of the interfaces, subsystem coordination and SSI implementation.

3.2 Integrating multi-type Object Controllers

The trend towards a decentralised digital architecture has also opened up new possibilities regarding the physical arrange-

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

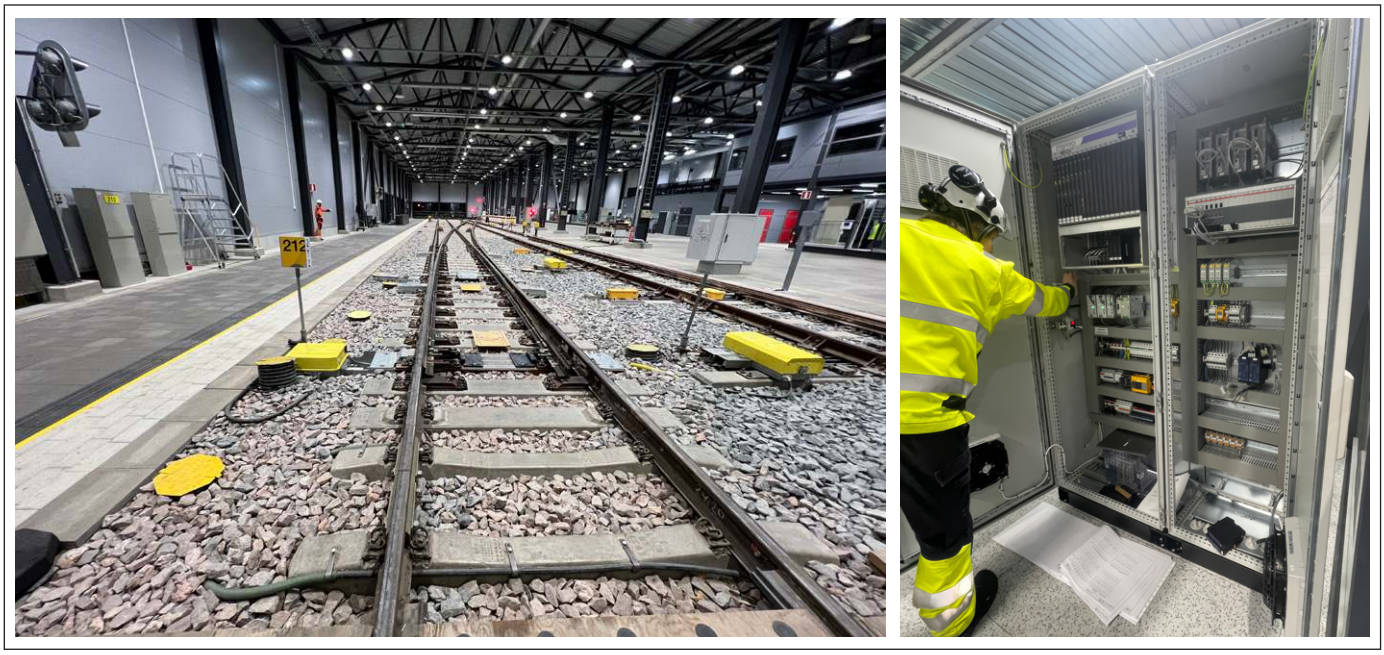


Bild 3: Multi-Vendor Integrationstest in Kouvola / Finnland unter Realbedingungen
Fig. 3: A multi-vendor integration test in Kouvola / Finland under real operating conditions

werden, ermöglichen Lösungen wie die FAdP die Integration mehrerer OC-Typen in einem gemeinsamen Schaltschrank – mit erheblichen Synergieeffekten über den gesamten Life Cycle hinweg.
Ein typisches Anwendungsszenario verdeutlicht das Potenzial: Ein Bahnhofsbereich mit Weichen, Zählpunkten und Lichtsignalen erfordert in konventioneller Bauweise mindestens drei separate Systeme. Jedes System benötigt einen eigenen Schaltschrank mit Versorgung, Klimatisierung und redundanten Netzwerkkomponenten. Die verschlüsselte Kommunikation erfordert zudem je zwei Cybersecurity-Module pro OC, was die Kosten rasch in den fünfstelligen Bereich treibt.

ment of the OC. While train detection systems have traditionally been treated separately, solutions such as the FAdP enable the integration of multiple OC types within a shared cabinet with significant synergistic effects throughout their entire lifecycle.
A typical application scenario illustrates the potential: a station area with points, counting heads and light signals conventionally requires at least three separate systems. Each system needs its own cabinet with a power supply, climate control and redundant network components. Encrypted communication additionally requires two cybersecurity modules per OC, which rapidly increases the costs to five-figure amounts.

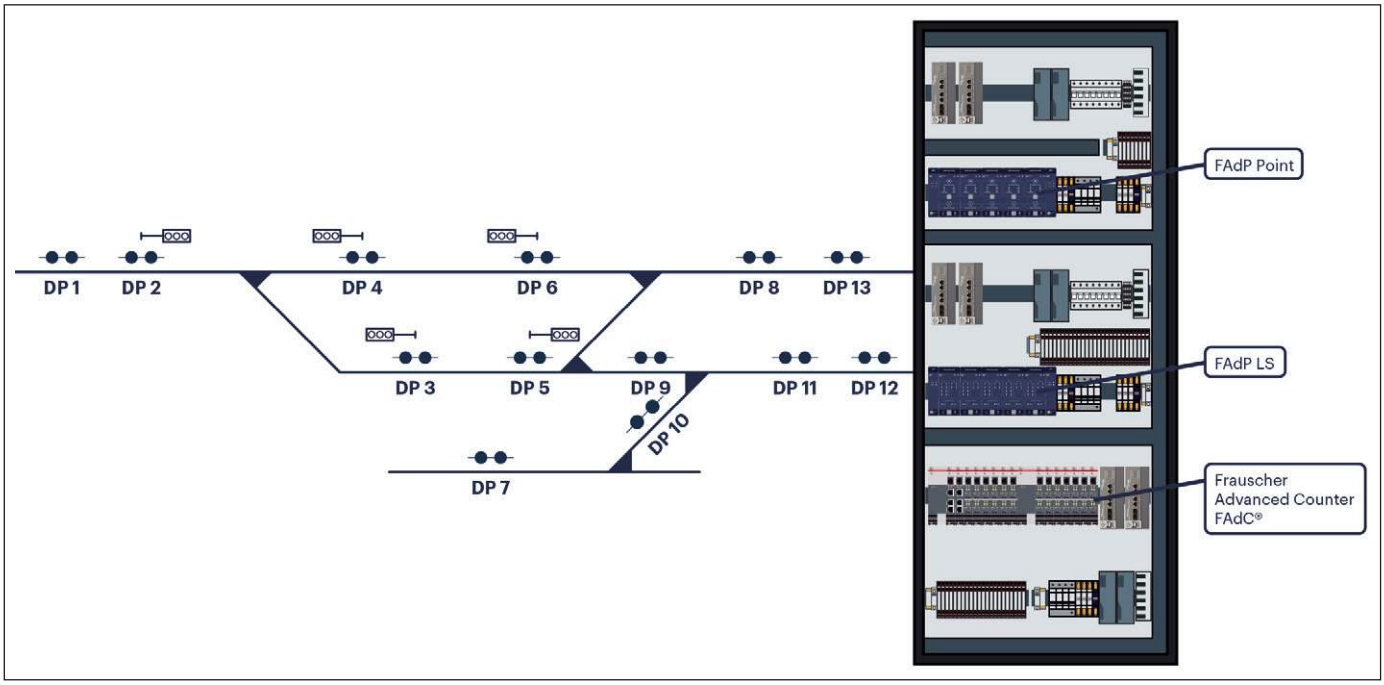


Bild 4: Gemeinsamer dezentraler Schaltschrank für OC Point, LS und TDS
Fig. 4: A shared decentralised cubicle for OC Point, LS and TDS

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Die FAdP ermöglicht eine konsolidierte Architektur: FAdP Point für die Weichensteuerung, FAdP TDS für die Gleisfreimeldung und FAdP LS für Lichtsignale werden in einem dezentralen Schrank vereint. Die gemeinsame Power-Protection- und Connectivity-Infrastruktur basiert auf zwei Frauscher Connect Devices, die alle OC über eine redundante, verschlüsselte Verbindung an das Stellwerk anbinden. Frauscher Connect unterstützt bis zu sechs RaSTA-Verbindungen und realisiert die standardisierten EULYNX-Baseline 4-Schnittstellen. Zudem fungiert die Einheit als OPC-UA-Aggregator für Diagnosedaten.
Die Volumenreduktion gegenüber drei separaten Installationen liegt bei 60 bis 80 %. Die Anzahl der Versorgungseinheiten wird auf eine reduziert, die gemeinsame Klimatisierung minimiert Energieaufwand und Betriebskosten. Die Konfiguration erfolgt softwarebasiert, während die Hardware-Basis identisch bleibt. Auch für Factory Acceptance Tests (FAT) ergeben sich Vorteile, da Testaufwand, Dokumentation, Logistik und Installation konsolidiert werden können.

3.3 Integration moderner Feldelemente in Legacy-Stellwerke

In vielen Märkten dominieren weiterhin Relais- oder elektronische Stellwerke die Signaltechnik, die durch hohen Verkabelungsaufwand, proprietäre Schnittstellen und starke Herstellerbindung gekennzeichnet sind. Angesichts aktueller Anforderungen hinsichtlich Kapazität und Verfügbarkeit benötigen Infrastrukturbetreiber zunehmend digitale Architekturen, um Wartbarkeit, Skalierbarkeit und Life-Cycle-Effizienz zu verbessern. Ein vollständiger Ersatz des Stellwerks ist jedoch wirtschaftlich und betrieblich häufig nicht darstellbar, insbesondere in großen heterogenen Netzen.
Moderne OC bieten hier einen pragmatischen Migrationspfad. Sollte eine veraltete, sternförmige Kabelinfrastruktur nicht mehr den Anforderungen hinsichtlich Verfügbarkeit und Sicherheit entsprechen, kann auf Basis von FAdP ein modernes, IP-basiertes Netzwerk in das bestehende Legacy-System integriert werden. Der FAdP Point digitalisiert das Feldelement „Weiche", indem er die Verantwortung für die sichere Steuerung und Überwachung vom Stellwerk übernimmt. In Richtung des Stellwerks übernimmt ein Adapter wie FAdP IO die elektrischen Signale, übersetzt sie in digitale Signale und sendet sie per RaSTA über ein IP-basiertes Netzwerk zum FAdP Point.
Diese Systemarchitektur ersetzt die Verkabelung in Richtung FAdP Point und Weichenantrieb – die Logik des Stellwerks bleibt jedoch völlig unverändert, da der FAdP IO entsprechende Parameter, wie betriebsbedingte Verzögerungen in der Übertragung der etablierten Verbindung, emuliert. Das Stellwerk nutzt weiterhin die gewohnte Schnittstelle und profitiert gleichzeitig von den digitalen Vorteilen moderner OC-Technologie.
Weitere wesentliche Vorteile ergeben sich aus der Reduktion der Signalverkabelung. Kupferkabel über weite Strecken sind wartungsintensiv, haben begrenzte Lebensdauer und bergen Sicherheitsrisiken bei jeder Wartung. OC ermöglichen es, weite Strecken der Kommunikation über redundante IP-basierte Netzwerke abzudecken. Dies verbessert die Verfügbarkeit, reduziert Auswirkungen von Kabelbruch- und Isolationsfehlern und verringert die Exposition gegenüber Kabeldiebstahl. Gleichzeitig ermöglichen OC vom ersten Tag an den Zugang zu Condition-Monitoring-Daten, etwa zu Strömen, Spannungen und mechanischen Parametern der Weichenantriebe.
Moderne OC wie FAdP Point und FAdP IO sind per Design EULYNX-kompatibel und bieten damit einen Migrationspfad in Richtung EULYNX-konformer Architektur. Darüber hinaus gibt es weitere Möglichkeiten, wie etwa die Implementierung kundenspezifischer Protokolle. Auch bei schrittweiser Modernisierung bleibt die spätere Realisierung einer vollständigen EULYNX-Architektur möglich. Dieser Ansatz stellt einen ersten Schritt zur Auflösung proprietärer Abhängigkeiten dar und ermöglicht unabhängiges Life Cycle Management.

The FAdP enables a consolidated architecture: FAdP Point for point control, FAdP TDS for track vacancy detection and FAdP LS for light signals are combined within a single decentralised cabinet. The shared power protection and connectivity infrastructure is based on two Frauscher Connect devices, which connect all the OC to the interlocking via a redundant, encrypted connection. Frauscher Connect supports up to six RaSTA connections and implements the standardised EULYNX Baseline 4 interfaces. The unit also acts as an OPC-UA aggregator for diagnostic data.
The volume reduction compared with three separate installations is 60 to 80 %. The number of power supply units is reduced to one; the shared climate control minimises energy consumption and operating costs. The configuration is software-based while the hardware platform remains identical. Factory acceptance tests (FAT) also benefit, as the testing, documentation, logistics and installation can all be consolidated.

3.3 Integrating modern field elements into legacy interlockings

In many markets, relay-based or electronic interlockings characterised by extensive cabling requirements, proprietary interfaces and strong supplier dependency continue to dominate the signalling technology. Given the current requirements for capacity and availability, infrastructure operators increasingly need digital architectures to improve maintainability, scalability and lifecycle efficiency. A complete replacement of the interlocking, however, is frequently not economically or operationally feasible, particularly in large heterogeneous networks.
Modern OC offer a pragmatic migration path within this context. If ageing star-shaped cable infrastructure no longer meets the availability and safety requirements, the FAdP can be used to integrate a modern IP-based network into an existing legacy system. FAdP Point digitalises the "point" field element by taking over responsibility for the safe control and monitoring from the interlocking. On the interlocking side, an adapter such as FAdP IO receives the electrical signals, translates them into digital signals and transmits them via RaSTA over an IP-based network to the FAdP Point.
This system architecture replaces the cabling towards FAdP Point and the point machine: the interlocking logic itself remains completely unchanged, as FAdP IO emulates the corresponding parameters, such as operationally induced delays in the transmission of the established connection. The interlocking continues to use its familiar interface while simultaneously benefiting from the digital advantages of modern OC technology.
Further significant advantages arise from the reduction in signal cabling. Copper cables are maintenance-intensive over long distances, have a limited service life and present safety risks during every maintenance intervention. OC enable long distances to be covered via redundant IP-based networks. This improves availability, reduces cable break and insulation faults and decreases exposure to cable theft. At the same time, OC provide access to condition monitoring data from day one, covering parameters such as currents, voltages and the mechanical parameters of point machines.
Modern OC such as FAdP Point and FAdP IO are EULYNX-compatible by design, thus providing a migration path towards a fully EULYNX-compliant architecture. Further options also exist, such as the implementation of customer-specific protocols. Even with incremental modernisation, the subsequent realisation of a complete EULYNX architecture remains possible. This approach represents the first step towards breaking proprietary dependencies and enabling independent lifecycle management.

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

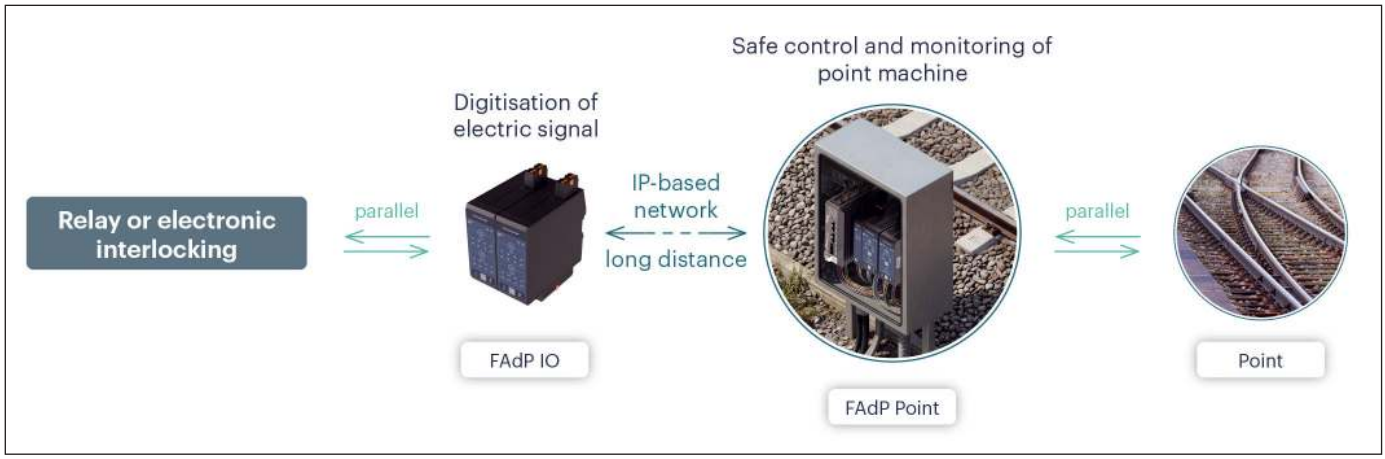


Bild 5: Schrittweise Digitalisierung durch unabhängige OC
Fig. 5: Gradual digitalisation through independent OC

4 Zusammenfassung

Die analysierten Use Cases belegen die praktische Realisierbarkeit dezentraler, digitaler Signaltechnik mit standardisierten OC. Über die technische Machbarkeit hinaus zeigen sie strategische Optionen für globale Übertragbarkeit, Modernisierung heterogener Bestandsnetze und künftige Entwicklungspfade.

4.1 Zentrale Erkenntnisse

Zentrale digitale Stellwerkstechnik mit standardisierten OC ist bereits heute realisierbare Praxis. Das finnische Digirail-Projekt belegt die Machbarkeit einer Multi-Vendor-Integration über EULYNX-Schnittstellen. Die dezentrale Architektur quantifiziert Effizienzgewinne von 60 bis 80 % Volumenreduktion durch Konsolidierung verschiedener OC-Typen. Die Legacy-Integration eröffnet pragmatische Migrationspfade für Betreiber mit heterogenen Bestandsnetzen.
Über alle drei Szenarien hinweg erweist sich die FAdP-Plattform-Strategie durch ihren hohen Anteil generischer Komponenten sowie standardisierte EULYNX-Baseline 4-Schnittstellen als architektonische Grundlage mit erheblichen Synergieeffekten. Zu den erfolgsentscheidenden Faktoren zählt auch die konsequente Trennung zwischen Safety und Security durch modulare Connectivity Units, die unabhängige Life-Cycle-Strategien über Nutzungszeiträume von mehr als 30 Jahren erlaubt.

4.2 Globale Beachtung des Konzepts

Während Europa die Vorreiterrolle bei dezentralen digitalen Architekturen innehat, vollzieht sich in Asien eine parallele Entwicklung mit regional spezifischen Ausprägungen. Indien setzt mit dem SIP-Standard auf eine EULYNX-3.5-basierte Spezifikation im Kontext massiver Modernisierungsprogramme. In aktuellen Diskussionen wird erörtert, wie eine weitere Migration zu EULYNX 4 oder höher erfolgen kann.
Die Prinzipien von EULYNX – modulare Architekturen, standardisierte Schnittstellen und die Entkopplung von Life-Cycle-Zeiten – erweisen sich als übertragbar, auch wenn exakte Spezifikationen variieren. Nach der initialen Standardisierung in Europa erfolgt nun die schrittweise Adaption in weiteren Märkten.

4.3 Komplette versus schrittweise Modernisierung

Die strategische Entscheidung zwischen vollständiger Systemerneuerung und schrittweiser Migration hängt vom Zustand beste-

4 Summary

The analysed use cases have confirmed the practical feasibility of decentralised digital signalling technology with standardised OC. Beyond demonstrating their technical viability, they have also revealed strategic options for global transferability, the modernisation of heterogeneous legacy networks and future development paths.

4.1 The key findings

Centralised digital interlocking technology with standardised OC is already realisable practice today. The Finnish Digirail project confirms the feasibility of multi-vendor integration using EULYNX interfaces. The decentralised architecture quantifies efficiency gains of 60 to 80 % volume reduction through the consolidation of different OC types. Legacy integration opens up pragmatic migration paths for operators with heterogeneous legacy networks.
Across all three scenarios, the FAdP platform strategy has demonstrated its architectural value through a high proportion of generic components and standardised EULYNX Baseline 4 interfaces that deliver substantial synergy effects. Decisive success factors include the consistent separation of safety and security through modular connectivity units, thereby enabling independent lifecycle strategies over service periods of more than 30 years.

4.2 The global relevance of the concept

While Europe is leading the way in decentralised digital architectures, a parallel development is also taking place in Asia with region-specific characteristics. India is adopting the SIP standard, based on an EULYNX 3.5 specification, within the context of large-scale modernisation programs. Current discussions are exploring how a further migration to EULYNX 4 or higher can be achieved.
The principles of EULYNX – modular architectures, standardised interfaces and the decoupling of lifecycle timescales – have proved to be transferable, even in places where the exact specifications differ. Following the initial standardisation phase in Europe, incremental adoption is now taking place in further markets.

4.3 Complete versus incremental modernisation

The strategic decision between complete system renewal and incremental migration depends on the condition of the existing installations, the available budgets, the operating windows

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

hender Anlagen, den verfügbaren Budgets, operativen Zeitfenstern und den strategischen Zielen ab. Bei Greenfield-Projekten ermöglicht eine vollständige EULYNX-Architektur von Beginn an die optimale Ausnutzung aller Vorteile dezentraler digitaler Systeme. Brownfield-Komplettmodernisierungen folgen einem strukturierten Migrationspfad: Zunächst werden Feldelemente durch moderne OC digitalisiert, während das Stellwerk bestehen bleibt. Der spätere Austausch des Stellwerks erfolgt ohne erneuten Eingriff in die Feldinfrastruktur.

Brownfield-Teilmodernisierungen setzen auf Übergangslösungen für schnelle Verfügbarkeitsverbesserungen ohne großflächige Betriebsunterbrechungen. Die Lebensdauer von Feldelementen kann dabei deutlich länger angesetzt werden als jene von Stellwerken, was stufenweise Modernisierungsstrategien ermöglicht.

4.4 Ausblick

Dezentrale Architekturen stellen neue Anforderungen an Beschaffungs- und Betriebsmodelle. Software-Wartungsverträge und kontinuierliches Life Cycle Management werden zu integralen Bestandteilen. Moderne OC können nicht nach dem One-Stop-Shop-Prinzip beschafft werden; vielmehr erfordert die Modularität enge Zusammenarbeit zwischen Betreibern und spezialisierten Komponentenherstellern. Insbesondere die kontinuierliche Bereitstellung von Security-Updates über 30 Jahre und mehr erfordert langfristige Service-Level-Agreements.

Die Integration fortgeschrittener Technologien beschleunigt diese Entwicklung: KI und maschinelles Lernen ermöglichen Predictive-Maintenance-Ansätze, Digital Twins schaffen virtuelle Repräsentationen der physischen Infrastruktur, und Cloud-basierte Management-Plattformen aggregieren Diagnosedaten über weiträumig verteilte Installationen.

Die Vision vollständig vernetzter, intelligenter Bahninfrastrukturen rückt damit in greifbare Nähe. Zentrale Voraussetzung bleibt die konsequente Anwendung standardisierter Schnittstellen. EULYNX kommt dabei eine Schlüsselrolle zu, weil die Initiative offene, herstellerunabhängige Standards definiert und so die Auflösung des Vendor Lock-in ermöglicht. ■

and the strategic objectives. For greenfield projects, a complete EULYNX architecture from the outset enables optimal use of all the advantages of decentralised digital systems. Comprehensive brownfield modernisations follow a structured migration path: the field elements are first digitalised using modern OC while the interlocking remains in place. The subsequent replacement of the interlocking takes place without any renewed intervention in the field infrastructure.

Partial brownfield modernisations rely on transitional solutions for rapid availability improvements without any large-scale disruptions to operations. The service life of field elements can be planned to be considerably longer than that of the interlockings, thereby enabling phased modernisation strategies.

4.4 Outlook

Decentralised architectures place new demands on procurement and operating models. Software maintenance contracts and continuous lifecycle management become integral components. Modern OC cannot be procured on a one-stop-shop basis; rather, the modular approach requires close collaboration between operators and specialised component manufacturers. The continuous provision of security updates over 30 years or more in particular requires long-term service level agreements.

The integration of advanced technologies is accelerating this development: artificial intelligence and machine learning enable predictive maintenance approaches, digital twins create virtual representations of physical infrastructure and cloud-based management platforms aggregate diagnostic data from widely distributed installations.

The vision of fully networked, intelligent railway infrastructure is thus coming within reach. The consistent application of standardised interfaces remains a fundamental prerequisite. EULYNX plays a key role here, as the initiative defines open, supplier-independent standards that enable the resolution of vendor lock-in. ■

LITERATUR | LITERATURE

[1] Büker, T.; Heller, S.; Henning, E.; Reinhart, P.; Weymann, F.: Zum verkehrlichen Nutzen der Digitalen Schiene Deutschland, DER EISENBAHNINGENIEUR 02/2024, S. 47–52

[2] John, D.: Erfolgreiche Interoperabilitätstests der SCI-TDS-Schnittstelle, SIGNAL+DRAHT 11/2024, S. 32–37

[3] Einböck, F.; Forstner, M.; Neudorfer, S.: Distributed Railway Signalling Architectures with Object Controllers, IRSE Aspect Paper, 2023

[4] Zweimüller, M.: Blick in die Zukunft digitaler Signaltechnik: Digirail Projekt in Finnland vereint Pioniere, Frauscher Blog, 5. Mai 2026

AUTOR | AUTHOR

DI (FH) Florian Einböck
Head of Portfolio Strategy
Frauscher Sensortechnik GmbH
Anschrift / *Address*: Gewerbestraße 1, A-4774 St. Marienkirchen/Schärding
E-Mail: florian.einboeck@frauscher.com

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Smart-Balise – eine integrierte Lösung für einen reibungslosen Übergangszeitraum von EBICAB zu ETCS

Smart Balise – an integrated solution for a smooth transition from EBICAB into ETCS

Harry Nyström | Sebastian Tapia Olguin

Wenn das finnische Eisenbahnnetz vom nationalen Zugbeeinflussungssystem (ATP VR/RHK) auf das europäische Zugbeeinflussungssystem ERTMS umgestellt wird, müssen die Lebenszyklen der Komponenten des bestehenden Systems den Übergang auf wirtschaftlich sinnvolle Weise unterstützen. In diesem Beitrag wurden die Vorteile einer Dual-Purpose-Balise als Übergangslösung untersucht.

1 Der Lebenszyklus des Zugbeeinflussungssystems

Das derzeit im finnischen Eisenbahnnetz eingesetzte nationale Zugbeeinflussungssystem ATP VR/RHK (im Folgenden JKV genannt) basiert auf dem seriellen Zugbeeinflussungssystem EBICAB 900 von Bombardier (heute Alstom). Es handelt sich um ein punktförmiges Zugbeeinflussungssystem, bei dem dauerhaft im Gleis installierte Balisen Informationen – z. B. zu Signalen und zulässigen Geschwindigkeiten – entweder gesteuert oder vorprogrammiert an das Fahrzeug übertragen.
Derzeit sind in Finnland zwei Typen von Alt-Balisen im Einsatz, die nicht als Bestandteil der europäischen ERTMS/ETCS-Systeme verwendet werden können. Darüber hinaus wurden die derzeit eingesetzten JKV-Balisen (im Folgenden Alt-Balisen) im Jahr 1995 entwickelt und nähern sich daher dem Ende ihres vorgesehenen Lebenszyklus, was die Notwendigkeit eines systematischen Austauschs begründet. Dies wird in den kommenden Jahren zu einem erheblichen Ersatzbedarf führen, um den Betrieb des JKV-Systems während der Übergangsphase sicherzustellen.
Gleichzeitig wurden aufgrund der alternden Konstruktion der Balisen erhebliche Herausforderungen bei der Verfügbarkeit ihrer Komponenten festgestellt, was ein wesentliches Risiko für die Sicherstellung des Systemlebenszyklus während des Übergangszeitraums darstellt.

2 Dual-Purpose-Balise – Fallbeispiel Smart-Balise

Der Ausrüstungshersteller Alstom erkannte die Notwendigkeit, eine neue serielle Alt-Balise zu entwickeln, die auch in Finnland eingesetzt wird, um auf Probleme bei der Verfügbarkeit von Komponenten zu reagieren. Gleichzeitig wurde erkannt, dass die schrittweise Außerbetriebnahme nationaler JKV-Systeme zugunsten des gemeinsamen europäischen ERTMS/ETCS den Bedarf an Alt-Balisen verringern wird, da die Produktion von Eurobalisen zunimmt. Dies könnte wiederum die Produktion von Alt-Balisen gefährden.
Um den Anforderungen an das Lebenszyklusmanagement der Finnish Transport Infrastructure Agency (FTIA) gerecht zu werden, startete Alstom ein Produktentwicklungsprojekt, dessen Ergebnis eine Dual-PurposeBalise mit der Bezeichnung Balise2020 war (im Folgenden Smart-Balise – s. Bilder 1 und 2).

When the Finnish railway network transitions from the national train control system (ATP-VR/RHK) to the European ERTMS train control system, the lifecycles of the current system's components will have to support the transition in an economically viable way. This article examines the benefits of a dual-purpose balise as a transitional solution.

1 The lifecycle of the train control system

The legacy ATP-VR/RHK train control system (hereafter referred to as the JKV) currently in use on the Finnish railway network is based on Bombardier's (nowadays Alstom's) EBICAB 900 serial communication train control system. It is an intermittent train control system in which permanently installed balises on the track transmit information to the train, e.g. about the track's signals and speed, either in a controlled or a pre-programmed manner.
At the moment, there are two types of legacy balises in use in Finland, which cannot be used as part of the European ERTMS/ETCS systems. In addition, the JKV balises currently in use were developed in 1995 and are therefore approaching the end of their intended lifecycle, which creates a need for systematic replacement. This will create a significant need to replace the balises in the coming years in order to take care of the JKV system's lifecycle during the transition period.
On the other hand, the aging design of the balises means that significant challenges have been identified in the availability of the components they contain, which poses a significant risk to ensuring the lifecycle throughout the transitional period.

2 The dual-purpose balise – the Smart Balise case example

The equipment manufacturer Alstom has identified a need for the development of a legacy serial balise that is also used in Finland to respond to its component availability issues. At the same time, it has also recognised that the gradual phasing out of national JKV systems has started to make way for the common European ERTMS/ETCS, which will reduce the need for legacy balises due to the increased Eurobalise production. This, in turn, could jeopardise the production of legacy balises. However, the Finnish Transport Infrastructure Agency's (hereafter the FTIA) lifecycle management requires the JKV systems to be maintained until at least 2040 before the planned completion of the ERTMS rollout. In order to meet the FTIA's lifecycle management requirements, Alstom started product development that resulted in a dual-purpose bal-

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Bild 1: Smart-Balise links und Alt-Balise rechts
Fig. 1: The Smart Balise on the left and a legacy balise on the right
Quelle / *Source*: Sebastian Tapia Olguin / Sweco Finland Ltd

Bild 2: Smart Balise, Rückansicht
Fig. 2: The Smart Balise: a rear view
Quelle / *Source*: Sebastian Tapia Olguin / Sweco Finland Ltd

Der Vorteil des neuen Produkts besteht darin, dass eine einzige Balise sowohl ein Alt-Balisen-Telegramm als auch ein Eurobalisen-Telegramm übertragen kann, anstatt zwei getrennte Balisen installieren zu müssen. Ein zusätzlicher Vorteil für den Hersteller ist die Möglichkeit, zwei Produktionslinien zu einer zusammenzuführen, was die Umweltbelastung der Produktion reduziert.
Aus Sicht der FTIA ermöglicht dies zudem eine Reduzierung der Ersatzteillagerkapazität, da bis zum Übergang in die ERTMS / ETCS-Ära (voraussichtlich bis 2040) nicht zwei unterschiedliche Balisentypen vorgehalten werden müssen. Eine einzige Balise erfüllt sowohl die Anforderungen des JKV während der Übergangsphase als auch die Anforderungen des ERTMS-Systems selbst – insbesondere für Zwecke der Positionsreferenzierung.

2.1 Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Akteuren

Die FTIA identifizierte die Notwendigkeit, den Betrieb des JKV-Systems während der Übergangsphase sicherzustellen, und verpflichtete sich daraufhin zur Beschaffung des neuen Smart-Balise-Produkts von Alstom. Zudem stellte sie Alstom fachliche Unterstützung über das Beratungsunternehmen Sweco Finland Ltd zur Unterstützung des Produktzulassungsprozesses zur Verfügung. Das Team „Assessment and Approval Services" von Sweco Finland bietet seit Jahren fachliche Unterstützung für Produktzulassungen in Projekten an, bei denen es nicht selbst als Bewertungsstelle (AsBo gemäß CSM RA-Verordnung) tätig ist, und verfügte daher über die erforderliche besondere Expertise. Das Projekt wurde in drei Phasen unterteilt: Forschungs- / Vorprüfungsphase, Testphase, und Zulassungsphase. An den Projekten waren außerdem GRK Suomi Oy für die Installationen sowie VR Group und VR Fleetcare für die Testfahrten beteiligt.

ise called Balise2020 (hereafter referred to as the Smart Balise – see fig. 1 and 2).
The advantage of the new product is that one balise can transmit both a legacy balise telegram and a Eurobalise telegram instead of the need for two separate balises. As an added benefit, the manufacturer can combine two production lines into one, thereby reducing the environmental impact of production. At the same time, the spare part storage capacity could be reduced from the FTIA's point of view, as the transition to the ERTMS / ETCS era by 2040 means that there would be no need to maintain a stockpile of two different types of balises, but one balise would meet the needs of both the JKV during the transition period to ERTMS / ETCS and the needs of the ERTMS system itself during the transition period and thereafter to the extent that the balises would be used, e.g. for the purposes of location referencing.

2.1 Cooperation between different stakeholders

The FTIA has identified the need to ensure the maintenance of the JKV system throughout the transition period and, as such, has committed to ordering the new Smart Balise product from the equipment supplier Alstom. It has likewise offered Alstom expert assistance through the consulting company Sweco Finland Ltd to support the product approval. For years, Sweco Finland's Assessment and Approval Services team have offered expert services to support product approvals in projects where it has not participated as an assessment body (an AsBo, as defined in the CSM-RA regulation), which is why it was suitable for the task due to its special expertise. The project was divided into three parts: the research, testing and approval phases. The pro-

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

2.2 Forschungs- und Vorprüfungsphase

Zu Projektbeginn lag der Fokus auf der Analyse des Lebenszyklus der bestehenden Alt-Balise und ihrer Eignung als Übergangslösung. Dabei zeigte sich schnell, dass der geplante Lebenszyklus nicht den gesamten Übergangszeitraum abdecken würde, sodass ein geordneter Ersatz erforderlich wurde. In Verbindung mit den bestehenden Problemen bei der Bauteilverfügbarkeit ergab sich klar, dass eine Produktentwicklung sowohl gerechtfertigt als auch dem bestehenden Modell überlegen war. Nach Unterstützung bei der Definition der Beschaffungskriterien lieferte der Hersteller erste Prototypen nach Finnland für Vorabtests.

Die Tests begannen im Sommer 2020 mit teilweise simulierten Labortests bei Sweco, um die Kompatibilität des Prototyps mit Lineside Electronic Units (LEU), PTE (Programming and Testing Equipment) und JKV-Encodern sicherzustellen. Nach erfolgreichem Abschluss wurden Tests auf einer geschlossenen Strecke genehmigt. Aus Sicherheits- und Risikogründen erfolgten die ersten Feldtests im August 2020 im Rangierbahnhof Ilmala mit nur einer Balisen-Gruppe, bei niedrigen Geschwindigkeiten und ohne feste Installation. Nach fehlerfreiem Testverlauf konnten darauf aufbauend Feldtests im Streckenbetrieb vorbereitet werden (Bild 3).

2.3 Testphase

Die Testphase wurde mit der Planung und dem Risikomanagement begonnen sowie mit der Beantragung der erforderlichen Testgenehmigungen bei der FTIA, während Traficom auf deren Wunsch hin über den Projektfortschritt informiert wurde.

Die Prototyp-Feldtests wurden auf der Strecke Kerava – Haarajoki durchgeführt und begannen Anfang 2021 bis September 2021. Für die Tests wurden zwei Balisen-Gruppen (insgesamt vier Balisen) installiert, entgegen der Fahrtrichtung, um betriebliche Risiken durch das unfertige Produkt zu minimieren. Die Testfahrten wurden fünfmal mit Streckenarbeitsgenehmigungen durchgeführt. Dabei traten weder strukturelle Probleme an den Balisen noch Fehler in der JKV-Funktionalität auf (Bild 4).

jects involved cooperation with GRK Suomi Oy for installations and with VR Group and VR Fleetcare for test runs.

2.2 The research and pre-testing phase

In the beginning, the project focused on analysing the current legacy balise's lifecycle and its suitability as a transitional solution. It soon became clear that the balise's planned lifecycle would not last the entire transition period, at which point we identified the need for a replacement that had to be managed appropriately. When this was combined with the equipment supplier's component availability issues, a clear view emerged that the need for product development was justified and its benefits were undeniable compared to the current model. After assisting in the preparation of the procurement criteria, the equipment manufacturer delivered the first prototypes to Finland for preliminary testing.

Testing began on the first prototype as partially simulated laboratory tests undertaken at Sweco in summer 2020. The aim was to ensure that the prototype was compatible with the Lineside Electronic Units (LEU) and the JKV Encoders. As the tests were passed without any issues, permission was given to proceed to closed site tests.

The first field tests were carried out with a single balise group, on a closed track, at low speeds and without any fixed installations for safety reasons and to manage risks. They were performed at the Ilmala railway yard in August 2020 in cooperation with the equipment supplier. The tests went smoothly and without any errors. Based on this preliminary tests, we were ready to move on to field tests with the prototype in a track environment (fig. 3).

2.3 The testing phase

The testing phase started with planning and risk management, as well as the applications for the necessary testing permits from

Bild 3: Smart-Balise bei geschlossenen Streckentests 2020
Fig. 3: The Smart Balise in closed track tests in 2020
Quelle / *Source*: Sebastian Tapia Olguin / Sweco Finland Ltd

Bild 4: Smart-Balise bei Wintertests 2021
Fig. 4: The Smart Balise in winter tests in 2021
Quelle / *Source*: Sebastian Tapia Olguin / Sweco Finland Ltd

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Es wurden fünf Testfahrten mit Gleisarbeitsgenehmigungen durchgeführt, bei denen weder Probleme mit der Bauweise der Balise noch Fehler in der JKV-Funktionalität festgestellt wurden. Die Fahrten wurden mit einer Siemens Vectron Sr3-Lokomotive durchgeführt, was auch Tests der Eurobalisen-Funktionalität ermöglichte – ebenfalls ohne Fehler.
Zusätzlich zu den monatlichen Testfahrten durften die Balisen zwischen den Tests im Gleis verbleiben, wobei täglich mindestens ein Zug die Balisen auch in der Nominalrichtung überfuhr, was die Anzahl der Überfahrten in Nominalrichtung über die Balise erheblich erhöhte. Die Ergebnisse bestätigten die Funktionalität des Produkts unter realen Einsatzbedingungen und ermöglichten den Übergang zur Zulassungsphase.

2.4 Zulassungsphase

Die Zulassungsphase begann mit dem Austausch der installierten Smart-Balisen durch Serienversionen. Installation und erste Tests erfolgten im Januar 2022, weitere Tests wurden bis Mai 2022 einmal monatlich durchgeführt (insgesamt fünf Mal), jeweils mit Alt-Balisen- und Eurobalisen-Tests.
Für die Dauer des Testzeitraums wurde zusätzlich die Genehmigung erteilt, eine Balisen-Gruppe auch im Regelgleis zu installieren, sodass jede Fahrzeugüberfahrt weitere Informationen zur Zuverlässigkeit lieferte. Mit dieser zusätzlichen Installation wurde das Balisen-Telegramm zwischen dem 13. Januar und dem 31. Oktober 2022 schätzungsweise 20 000-mal gelesen, basierend auf einem angenommenen Durchschnitt von 30 Zügen pro Tag.
Während und zwischen den Tests wurden keine Fehlercodes oder Fehlfunktionen an einer der Testbalisen festgestellt. Auf Grundlage der erfolgreichen Testphase wurde im Sommer der formale Produktzulassungsprozess durch die Bewertungsstelle (AsBo) und die Benannte Stelle (NoBo) eingeleitet. Sowohl der Sicherheitsbewertungsbericht als auch die EG-Konformitätsbescheinigung wurden ohne Beanstandungen abgeschlossen, ebenso die Bewertung durch die Benannte nationale Stelle (DeBo).

2.5 Smart-Balise in Betrieb

Nach Ausstellung der EG- und FI-Konformitätserklärungen durch den Hersteller kann die Smart-Balise im finnischen Eisenbahnnetz als JKV-Balise und künftig auch auf ERTMS / ETCS-Strecken als Eurobalise gemäß den jeweiligen Erklärungen eingesetzt werden.
Dies gewährleistet eine sichere, zuverlässige und anpassungsfähige Balisenlösung für den Übergang von JKV zu ERTMS / ETCS und darüber hinaus. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Beitrags sind mehr als 200 Smart-Balisen in Finnland in Betrieb.

2.6 Besondere Eigenschaften und Einschränkungen

Im Zusammenhang mit der Verwendung der Smart-Balise sind einige wesentliche Eigenschaften und Einschränkungen zu beachten (Bild 5):

1. Die Smart-Balise darf ausschließlich drahtlos über den Luftspalt mit der Programmier- und Testausrüstung PTE 2000 programmiert werden. Die Versionskompatibilität kann mit dem Hersteller überprüft werden; Aktualisierungen der Geräte erfolgen beim Hersteller.
2. Die gesteuerte Smart-Balise ist mit einem fest angeschlossenen Kabel ausgestattet, das nicht entfernt werden kann; die ungesteuerte Smart-Balise wird ohne Kabel geliefert. Etwaige Kabelverbindungen sind an anderer Stelle im Feld herzustellen.
3. Die Smart-Balise antwortet mit einem ASK Uplink (als Alt-Balise), wenn sie durch nicht toggling Tele-Powering (d. h. Balisen

the FTIA, while also informing Traficom of the progress on the project at their request.
It was decided that the field tests of the prototype would be carried out between Kerava and Haarajoki and they began in early 2021 and continued until September 2021. Two balise groups, i.e. a total of four balises, were installed on the line in both directions for testing so as to mitigate any risks to smooth operations originating from an unfinished product (fig. 4).
Five test runs with track work permits were carried out, during which no problems were detected in the structure of the balise or any errors in the JKV functionality. The test runs were carried out with a Siemens Vectron Sr3 locomotive, which also provided an opportunity to design and run Smart Balise tests for the Eurobalise functionality, which were also completed without any errors.
The balises were allowed to remain on the track between the tests in addition to the monthly test runs. At least one train drove over the balises daily, including in the nominal direction, thereby significantly increasing the number of passes over the balise in the nominal direction. The prototype's testing results further strengthened the view of the product's functionality in real field conditions and enabled the transition to the approval phase, i.e. tests with the production version.

2.4 The approval phase

The approval phase was initiated by replacing the installed Smart Balises with production version models. The installation work and the first tests were carried out in January 2022 and the tests continued until May 2022. They took place once a month for a total of five times, each of which included both legacy balise and Eurobalise tests.
Also permission to install one group of balises on the forward track for the duration of the test period was given, so that each rolling stock crossing would provide additional information about the balise reliability. The additional installation meant that the balise telegram was read from the test balises an estimated 20,000 times between 13 January and 31 October 2022. The average value used in the calculation is 30 trains per day.
No fault codes or other incorrect functionality were registered from any test balise during and between test runs. The Assessment Body (AsBo) and the Notified Body (NoBo) started the product approval process in the summer based on the successful test period. Both the Safety Assessment Report by the AsBo and the EC Certificate of Conformity by the NoBo were finalised without any issues, as was the subsequent assessment of the Designated Body (DeBo).

2.5 The Smart Balise in operation

Once the equipment supplier has issued the EC and FI declarations of conformity for its Smart Balise product based on the certificates, the Smart Balise can be used on the Finnish railway network as a JKV balise and, in the future, also on ERTMS / ETCS lines as a Eurobalise in accordance with the terms and conditions listed in the respective declarations. This ensures a safe, reliable and adaptable balise solution for the transition from JKV to ERTMS / ETCS and beyond. At the time of writing, more than 200 installed Smart Balises are currently in operation in Finland.

2.6 Notable features and restrictions

There are a few notable features and restrictions considering the use of the Smart Balise (fig. 5):

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

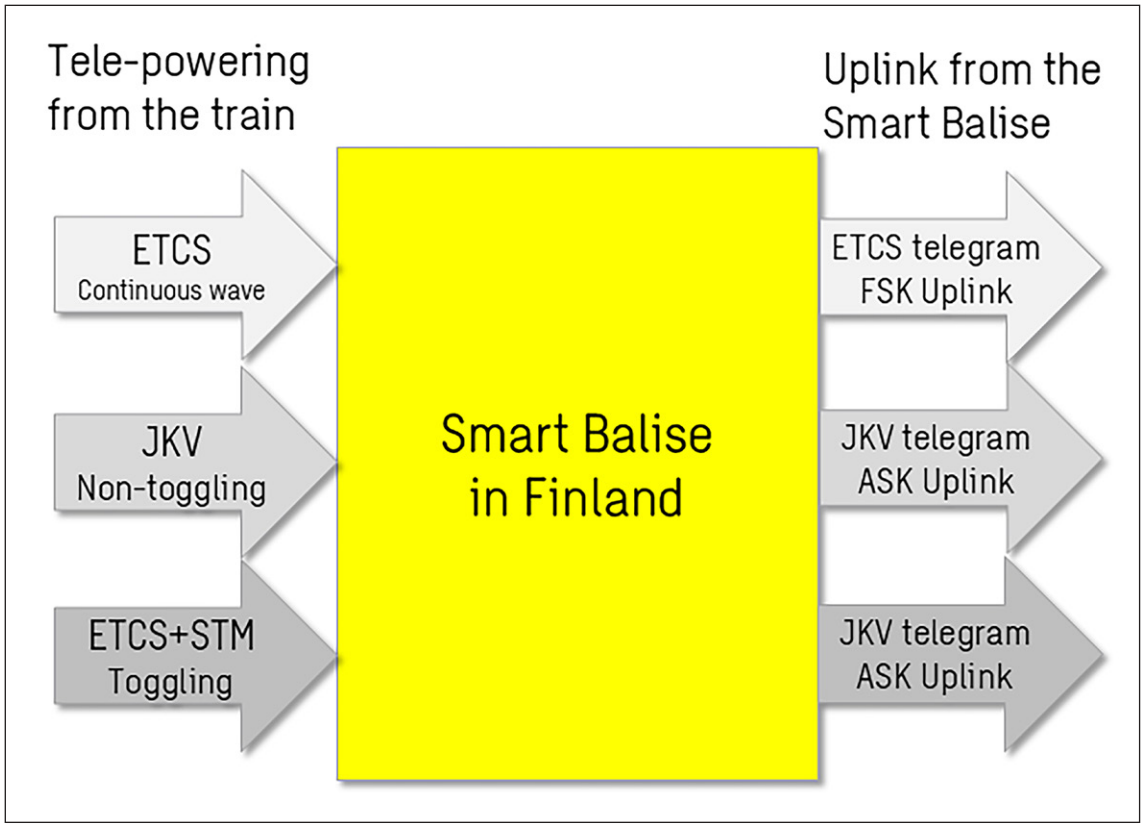


Bild 5: Eigenschaften der Smart-Balise
Fig. 5: The features of the Smart Balise
Quelle / *Source*: Harry Nyström / Sweco Finland Ltd

Aktivierungssignal) vom Fahrzeug aktiviert wird. Alt-Systeme wie EBICAB 700 und EBICAB 900 verwenden nicht toggling Tele-Powering.

4. Die Smart-Balise antwortet mit einem FSK Uplink (als Eurobalise), wenn sie durch CW Tele-Powering (Continuous Wave) vom Fahrzeug aktiviert wird. ETCS verwendet CW Tele-Powering.
5. Die Smart-Balise wird im Produktionsprozess fest codiert, sodass sie bei toggling Tele-Powering vom Fahrzeug entweder mit einem ASK Uplink (als Alt-Balise; Standardfall) oder mit einem FSK Uplink (als Eurobalise) antwortet. Dies ist vom Auftraggeber auszuwählen. In Finnland ist die Priorität auf ASK Uplink (Alt-Balise) gesetzt. ETCS + STM verwendet toggling Tele-Powering.
6. Einschränkung: Eigenschaft 5 führt dazu, dass die Smart-Balise in Finnland nicht als Level-Transition-Balise verwendet werden kann, da sie bei toggling Tele-Powering eines Fahrzeugs, das einen Level-Übergang anfordert, nicht als Eurobalise antworten kann.

Hinweis: Diese Einschränkung ist nicht gültig, wenn die Smart-Balise fest so codiert ist, dass sie bei einer Aktivierung durch toggling Tele-Powering vom Fahrzeug mit einem FSK-Uplink antwortet. Dies würde jedoch eine korrekte Nutzung der Balise über ein STM unmöglich machen.

3 Dual-Purpose-Nutzung – Fallbeispiel Dual Balise Driver Board

Im Rahmen der Smart-Balise-Projekte wurde deutlich, dass das volle Potenzial der Smart-Balise nur mit Anpassungen an der LEU ausgeschöpft werden kann. Eine LEU kann lediglich vier Balise Driver Boards aufnehmen, von denen jedes eine einzelne Balise (entweder eine serielle Alt-Balise oder eine Eurobalise) steuert, sodass pro LEU zwei Balisen-Paare betrieben werden können. Für die Ansteuerung beider Balistentypen innerhalb einer Smart-Balise wären jedoch zwei Driver Boards erforderlich, wodurch eine LEU nur noch ein Smart-Balisen-Paar steuern könnte.

1. The Smart Balise can only be programmed wirelessly via an air gap with the PTE 2000 Programming and Testing Equipment. The version compatibility can be checked with the supplier and the devices can be updated at the manufacturer's premises.
2. The controlled Smart Balise comes with a fixed cable that cannot be removed: the uncontrolled balise is supplied without a cable. Any connections between the cables must be made elsewhere in the field.
3. The Smart Balise responds with an ASK uplink (as a legacy balise) when it is activated by non-toggling tele-powering (i.e. the balise activation signal) from the train. Legacy systems, such as EBICAB 700 and 900, use non-toggling tele-powering.
4. The Smart Balise responds with an FSK uplink (as a Eurobalise) when it is activated by CW (continuous wave) tele-powering from the train. ETCS uses CW tele-powering.
5. The Smart Balise is hardcoded in production to respond either with an ASK uplink (as a legacy balise; default) or an FSK uplink (as a Eurobalise) when it is activated by toggling tele-powering from the train. This will be selected by the client. In Finland, the priority is set to an ASK uplink (as a legacy balise). ETCS+STM uses toggling tele-powering.
6. Restriction: feature 5 results in the fact that the Smart Balise cannot be used as a level transition balise in Finland, as it cannot reply to toggling tele-powering from a train as a Eurobalise.

Note: this restriction is not valid if the Smart Balise is hardcoded to respond with an FSK uplink when activated by toggling tele-powering from the train. However, this would make it impossible to use the balise correctly via an STM.

3 Dual-purpose use – the Dual Balise Driver Board example case

During the Smart Balise projects, it became apparent that the full potential of the Smart Balise would not be available with-

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Zusätzlich waren auch die Balise Driver Boards von denselben Komponentenverfügbarkeitsproblemen betroffen wie die seriellen Alt-Balisen. Dies führte bei Alstom zu einem Produktentwicklungsprojekt mit dem Ziel, die bisherigen seriellen Balise- und Eurobalise-Driver-Boards in einem Dual Balise Driver Board (DBDB) zusammenzuführen. Aus finnischer Sicht bietet dieser Ansatz eine Lösung für die identifizierten Versorgungsrisiken während des Übergangs zu ERTMS / ETCS und ermöglicht zugleich eine flexible Nutzung der vorhandenen Hardware für zukünftige Anforderungen.

3.1 Projekt DBDB

Die FTIA beschloss, die bestehenden seriellen Balise Driver Boards (SBDB) aus Sicht der Ersatzteilversorgung durch DBDB zu ersetzen, sofern das Produkt alle Sicherheits-, Interoperabilitäts- und nationalen Anforderungen erfüllt. Zu diesem Zweck initiierte die FTIA im Jahr 2023 ein entsprechendes Projekt; Sweco Finland Ltd wurde erneut als Hauptberater für die Zulassungsphase beauftragt.

Die Tests begannen Anfang 2023 mit dem ersten Prototyp in den Räumlichkeiten von Sweco als teilweise simulierte Labortests. Ziel war es, die Kompatibilität des Prototyps mit seriellen Balisen, Smart-Balisen und LEU sicherzustellen. Da alle Tests ohne Beanstandungen bestanden wurden, wurde die Genehmigung zur Durchführung von geschlossenen Streckentests erteilt.

Die ersten Streckentests fanden im März 2023 auf einem geschlossenen Gleis im Rangierbahnhof Ilmala statt, wobei der erste Prototyp einige Änderungen an der LEU erforderte, die zur Steuerung der Balisen verwendet wird. Dies liegt daran, dass die LEU nur vier Balise Driver Boards aufnehmen kann, die jeweils eine einzelne Balise steuern können (entweder eine herkömmliche serielle Balise oder eine Eurobalise). Somit kann eine Einheit nur zwei Balisenpaare steuern.

Im Fall der Smart Balise würde die Möglichkeit, beide Balisentypen innerhalb der einzelnen Smart Balise zu steuern, jedoch die Verwendung von zwei Balise Driver Boards erfordern. Somit könnte eine einzelne LEU nur ein Smart Balise Paar steuern.

Zusätzlich waren die gleichen Komponentenverfügbarkeitsprobleme, die die alten seriellen Balisen betrafen, auch für die alten Balise Driver Boards relevant. Dies führte zu einem Produktentwicklungsprojekt bei Alstom mit dem Ziel, die alten seriellen Balise- und Eurobalise-Driver-Boards durch Kombination in ein einzelnes Dual Balise Driver Board (im Folgenden DBDB) neu zu gestalten.

Aus finnischer Sicht würde dies die identifizierten Versorgungsprobleme für die Übergangszeit zu ERTMS / ETCS lösen und ermöglicht zugleich eine flexible Nutzung der vorhandenen Hardware für zukünftige Anforderungen.

3.1 The DBDB project

The FTIA decided to replace the old serial balise driver boards (SBDBs) with the new DBDBs from the point of view of securing spare parts, provided the product was viable and fulfilled all the safety, interoperability and national requirements.

The FTIA started a project in Finland in 2023 so as to ensure that the developed product would fulfil all its requirements.

Bild 6: DBDB während der Testfahrten 2023
Fig. 6: The DBDB during test runs in 2023
Quelle / *Source*: Sebastian Tapia Olguin / Sweco Finland Ltd

Bild 7: DBDB Balisen-Telegrammlesetests von der Smart-Balise 2023
Fig. 7: DBDB telegram read tests from Smart Balise in 2023
Quelle / *Source*: Sebastian Tapia Olguin / Sweco Finland Ltd

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

totyp an zwei Smart-Balisen angeschlossen war. Getestet wurde mit zwei Lokomotiven – einer mit JKV (EBICAB 900) und einer mit ETCS + STM. Alle Testszenarien wurden ohne Beanstandungen abgeschlossen, und die Ergebnisse wurden zur weiteren Prototypenfinalisierung an Alstom übermittelt (Bild 6).

Anschließend wurden die Tests mit Streckenarbeitsgenehmigungen auf der Strecke Kerava – Haarajoki fortgesetzt, um sicherzustellen, dass alle Telegramme korrekt waren und keine unvorhergesehenen Effekte durch die mit dem DBDB-Prototyp gesteuerten Balisen-Gruppen auftraten. Alle bisherigen Tests wurden – sofern eine Vectron-Lokomotive der Baureihe Sr3 eingesetzt wurde – sowohl mit JKV-Telegrammen als auch mit ETCS-Telegrammen durchgeführt. Dies erfolgte beispielsweise, um feststellen zu können, ob sich die beiden unterschiedlichen Zugbeeinflussungssysteme innerhalb derselben Baliseposition gegenseitig beeinflussen oder zu Interferenzen führen (Bild 7).

Nachdem auch diese Tests ohne Beanstandungen bestanden wurden, stellte die FTIA einen Antrag auf eine Erprobungsphase im offenen Streckenbetrieb. Nach Erteilung der Genehmigung begann die Erprobungsphase im August 2023 im offenen Betrieb.

Für die Erprobungsphase wurde die erste Serienversion des DBDB installiert und eingesetzt. Nach Abschluss der Installationsprüfungen und funktionalen Testfahrten wurde die Erprobungsphase dadurch fortgeführt, dass die DBDB (angeschlossen an Smart-Balisen) dauerhaft im Gleis verblieben und planmäßig betrieben wurden.

Alstom stellte die Serienversion des DBDB fertig und lieferte im Oktober eine finale Version mit einer geringfügigen Leistungsverbesserung aus. Eine weitere Reihe von Installations- und Testfahrten wurde durchgeführt, und die Erprobungsphase wurde fortgesetzt. Zusätzlich zum regulären Betrieb auf der Strecke wurde das DBDB (weiterhin angeschlossen an Smart-Balisen) zwischen November 2023 und November 2024 in vier weiteren Testfahrten geprüft.

Auf Basis der Ergebnisse wurde die Zulassungsphase abgeschlossen. Alstom erhielt den Sicherheitsbewertungsbericht (AsBo) sowie die EG Konformitätsbescheinigung (NoBo); Sweco bestätigte die Übereinstimmung mit den FTIA-Anforderungen. Der Antrag auf kommerziellen Betrieb wurde im Juni 2025 gestellt und im Au-

Sweco Finland Ltd was once again selected as the main consultant to ensure smooth cooperation and the necessary expertise during the approval phase.

Testing began on the first prototype as partially simulated laboratory tests at the Sweco premises in early 2023. The aim was to ensure that the prototype was compatible with the serial balises, Smart Balises and LEUs. As the tests were passed without any issues, permission to proceed to closed site tests was given.

The first site tests were run on a closed track at the Ilmala railway yard in March 2023: the first prototype was connected to two Smart Balises. Two locomotives were used, one with the legacy JKV system (EBICAB 900) and one with ETCS+STM units. Once again, all the test cases were passed without any issues or concerns. The results were forwarded to Alstom for analysis and to enable the completion of the prototype (fig. 6).

Thereafter, the testing continued with track work permits on the Kerava – Haarajoki line so as to ensure that all the telegrams were correct and that no unforeseen issues would arise from the balise groups that were controlled with the DBDB prototype. Up until that moment, all the tests had been run with both legacy JKV telegrams and ETCS telegrams whenever an Sr3 Vectron locomotive was used. This was done, for example, so as to be able to determine whether the two different train control systems in the same balise location would interfere with one another (fig. 7).

As the tests were passed without any issues, an application for a trial period on an open track was submitted to the FTIA. After the permit was issued, the trial period started on an open track in August 2023. The first production version of the DBDB was installed and used for the trial period. After the installation tests and functional test runs had been completed, the trial period started with the DBDBs (connected to Smart Balises) left on the track to operate as planned.

Alstom finished the production version of the DBDB and delivered its final version in October with a slight performance update. Another set of installation tests and test runs were com-

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.

DVV Media Group

Ansprechpartnerin:
Silke Härtel

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

Eurailpress

© 2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

gust 2025 genehmigt, womit das Projekt nach zweieinhalb Jahren erfolgreich abgeschlossen wurde.

3.2 DBDB in Betrieb

Nach Erteilung der Genehmigung für den kommerziellen Betrieb durch die FTIA auf Grundlage der ausgestellten Zertifikate kann das DBDB im finnischen Eisenbahnnetz als Balise Driver Board für das JKV-System eingesetzt werden. Künftig kann es gemäß den jeweiligen Konformitätserklärungen auch für Eurobalisen verwendet werden.
Dies stellt eine flexible, dual-fähige Lösung zur gesteuerten Balisenansteuerung für den Übergangszeitraum von JKV zu ERTMS / ETCS und darüber hinaus sicher.

4 Diskussion

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Beitrags ist geplant, die ersten DBDB-Einheiten im Jahr 2026 in Finnland zu installieren, um die alten SBDB zu ersetzen. Weitere Testfahrten mit unterschiedlichen Fahrzeugflotten sind vorgesehen, und es soll – sofern möglich – die Störfestigkeit zwischen Alt-Systemen und ERTMS / ETCS weiter untersucht werden.
Finnland hat sich jedoch entschieden, das gesamte Eisenbahnnetz mit einer vollständigen ETCS-Level 2-Lösung auszustatten. Dadurch wird der Bedarf an DBDB im ETCS-Betrieb weitgehend entfallen, da ungesteuerte Balisen dort ausschließlich zur Positionsreferenzierung genutzt werden. Sollte sich diese Rahmenbedingung aus irgendeinem Grund ändern, ermöglicht der gewählte Ansatz die Untersuchung alternativer Lösungen. Bis dahin stellt die Kombination aus Smart-Balise und DBDB sicher, dass das bestehende nationale JKV-System im Netz der FTIA während des gesamten Übergangszeitraums zu ERTMS / ETCS bis in die 2040er Jahre hinein zuverlässig betrieben werden kann.
Die Smart-Balise und das DBDB bieten darüber hinaus eine flexible Möglichkeit zur Einführung von ETCS Level 1 in Märkten mit bestehenden nationalen ATP-Systemen (EBICAB 700 und 900), ohne dass die On-Board-Ausrüstung der gesamten Fahrzeugflotte gleichzeitig ersetzt werden muss. Dieser Ansatz erlaubt den Betrieb beider Zugbeeinflussungssysteme über eine gemeinsam genutzte physische Infrastruktur, reduziert die Duplizierung von Streckenausrüstung, optimiert Lebenszykluskosten und ermöglicht eine flexible Migration der Alt-Systeme, unabhängig von der Weiterentwicklung zu ETCS Level 2. ■

pleted and the trial period continued. In addition to being used in normal operations on the line, the DBDB (still connected to the Smart Balises) was tested in four additional test runs between November 2023 and November 2024.
The product approval phase continued with the relevant results. All the necessary information was gathered, reports were issued and documentation was finalised. Alstom received the Safety Assessment Report from the AsBo and the EC Certificate of Conformity from the NoBo, while Sweco made a case to the FTIA with regard to the conformity with the FTIA requirements. Alstom Transport Finland applied for a permit for commercial operations from the FTIA in June 2025 and the permit was issued in August 2025, thereby bringing the project to a successful end after two and a half years.

3.2 The DBDB in operation

Since the FTIA has issued the commercial operating permit for the DBDB product based on the certificates, the DBDB can be used on the Finnish railway network as a balise driver board for the JKV system. In the future, it could also be used for Eurobalises in accordance with the terms and conditions listed in the respective declarations. This will ensure a flexible dual-purpose controlled balise solution for the transition period from JKV to ERTMS / ETCS and beyond.

4 Discussion

At the time of writing, the first set of DBDBs are planned for installation in Finland in 2026 to replace the old SBDBs. More test runs with a different fleet are planned and the interference tolerance between the legacy systems and ERTMS / ETCS will be studied wherever possible.
However, Finland has decided to implement a full ETCS Level 2 solution to its entire rail network, which will make the need for DBDBs in ETCS use obsolete, as uncontrolled balises would only be used for position referencing. The selected approach makes it possible to explore other solutions, should this change for any reason. Until then, the combination of the Smart Balise and the DBDB will make sure that the existing JKV legacy system can be maintained in the operations on the FTIA's rail network without any issues throughout the transition period to ERTMS / ETCS until the 2040s.
The Smart Balise and DBDB offer a flexible way of introducing ETCS Level 1 to markets with legacy ATP Systems (EBICAB 700 and 900), thereby enabling ERTMS traffic without the need to replace the on-board equipment over the entire existing train fleet all at once. This approach enables both train control systems to operate through a shared physical infrastructure. The solution reduces trackside duplication, optimises lifecycle costs and enables flexible legacy migration separately from the ETCS L2 evolution. ■

AUTOREN | AUTHORS

Harry Nyström, M.Sc.
Technical Director, Assessment and Approval Services
E-Mail: harry.nystrom@sweco.fi

Eng. Sebastian Tapia Olguin
ERTMS Technical Manager, Digirail
E-Mail: sebastian.tapiaolguin@sweco.fi

Beide Autoren / *both authors:*

Sweco Finland Ltd
Anschrift / *Address:* Rautatienkatu 33, FI-90100 Oulu

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Strategische Modernisierung von ERTMS der frühen Generation

Strategic upgrades of early generation ERTMS

Mika Dijkstra | Mark van Hesse | Sander Willer

Die ERTMS-Signalanlagen (European Rail Traffic Management System) der frühen Generation nähern sich in einigen Bereichen ihrem „End-of-Life". Infrastrukturbetreiber stehen damit vor der Entscheidung, ob ein vollständiger Systemersatz erforderlich ist oder ob lebensdauerverlängernde Modernisierungen eine sinnvolle Alternative darstellen. Der Wert des Stellwerks als Rückgrat unterhalb der ERTMS-Ebene sollte idealerweise erhalten bleiben, um Kosten, ingenieurtechnischen Aufwand, betriebliche Auswirkungen und Zulassungsaktivitäten zu minimieren. Dieser Beitrag stellt die Notwendigkeit eines vollständigen Ersatzes infrage und konzentriert sich stattdessen auf die gezielte Modernisierung der zentralen Komponenten der ERTMS-Signalanlage.

1 Einleitung: die aktuelle Ausgangslage

Infrastrukturbetreiber investieren erheblich in den Ausbau und die Erneuerung von Sicherungs- und Leittechniksystemen, wobei ERTMS im Zentrum dieses Wandels steht. Im weiteren gesellschaftlichen Kontext sind diese Veränderungen notwendig, um die Signaltechnik zu digitalisieren sowie Kapazität und Interoperabilität zu erhöhen. Nachdem ERTMS-Projekte nun seit über zwei Jahrzehnten umgesetzt werden, stellt sich zunehmend die Frage nach der Zukunft der ERTMS-Signalanlagen der frühen Generation.

Die ersten Implementierungen von ERTMS wurden häufig als Pilotprogramme verstanden, mit starkem Fokus auf Innovation. Diese Altsysteme wurden auf Basis der Anforderungen früher Versionen der Technischen Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) entwickelt. Heute, da die TSI deutlich gereift und tatsächlich interoperabel sind, konzentrieren sich aktuelle ERTMS-Rollout-Programme auf großskalige Migrationen unter Anwendung der neuesten TSI-Versionen. Signalsysteme mit ERTMS Level 2 bestehen aus mehreren Subsystemen, wobei Verkehrsmanagementsystem, Fahrzeugausrüstung, Radio Block Centre (RBC) und Stellwerk die Hauptkomponenten darstellen (Abb. 1).

Diese groß angelegten Migrationen begünstigen oftmals eine vollständige Systemerneuerung, bei der das gesamte Signalsystem – bestehend aus RBC, Stellwerk und streckenseitigen Controllern – ersetzt wird. Ein vollständiger Austausch mag technisch „sauber" erscheinen, ist jedoch kostenintensiv und betrieblich stark eingreifend und erfordert komplexe Migrationsstrategien mit deutlichen Auswirkungen auf den laufenden Betrieb.

Dieser Beitrag stellt den vollständigen Ersatz früher ERTMS-Systeme infrage, indem er die technischen Aspekte der installierten Basis und moderner ERTMS-Systeme analysiert. Die bestehende Infrastruktur – einschließlich Objektcontrollern, zentralem Stellwerk

The early generation of the European Rail Traffic Management System (ERTMS) signalling systems are nearing their "end of life" in some areas. Infrastructure managers have to decide whether a complete system replacement is necessary or if life-extending upgrades are viable options. The value of the interlocking backbone underneath the ERTMS layer should ideally be saved from decommissioning so as to minimise costs, engineering capacity, operating impact and certification efforts. This article challenges the necessity for full-scale replacements and focuses on upgrading only the central equipment in the ERTMS signalling system.

1 Introduction: the current landscape

Infrastructure managers are investing heavily in the rollout and renewal of signalling systems with the ERTMS at the core of this transition. These changes are necessary within a broader societal context so as to digitise the signalling systems, as well as to increase capacity and interoperability. Now that ERTMS projects have been ongoing for over two decades, the question arises: what will the fate of the early generation ERTMS signalling systems be?

The early implementations of ERTMS were often considered to be pilot programs with a lot of emphasis on innovation. These legacy systems were developed against the requirements found in the early versions of the Technical Specification for Interoperability (TSI). Now that the TSIs have become more mature and truly interoperable, current ERTMS rollout programs are focussing on large scale transitions while implementing the latest TSI.

The signalling systems that work with ERTMS Level 2 are comprised of various subsystems, the major parts being the traffic management system, the onboard system, the Radio Block Centre (RBC) and the interlocking as shown in fig. 1.

These large-scale transitions tend to favour full system renewal in which the entire signalling system consisting of the RBC, interlocking and wayside controllers is replaced. While a full system replacement may seem technically "clean", it is expensive, intrusive and requires a complex migration strategy with a significant impact on daily operations.

This article challenges full replacements of early generation ERTMS systems by analysing the technical aspects of the installed base and the new ERTMS systems. The installed base, including the object controllers, central interlocking and trackside equipment, remains a valuable backbone onto which an updated central ERTMS layer could be applied.

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

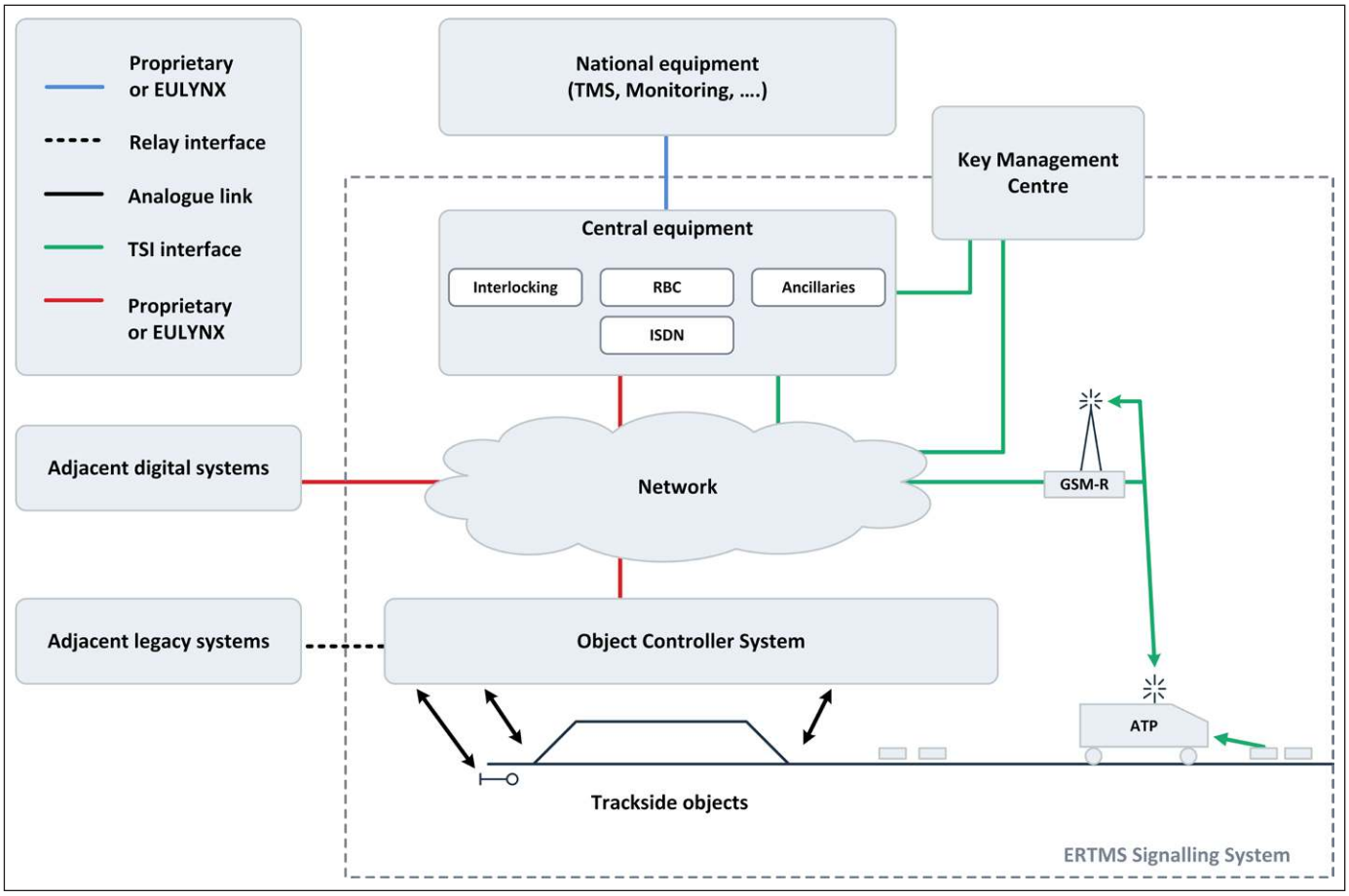


Bild 1: ERTMS-Signalanlage und ihr Umfeld
Fig. 1: An ERTMS signalling system and its context

und streckenseitiger Ausrüstung – bildet weiterhin ein wertvolles Rückgrat, auf dem eine aktualisierte zentrale ERTMS-Ebene aufgesetzt werden kann.

Im Folgenden beziehen wir uns auf den in Bild 1 dargestellten Systemausschnitt. Diese Konfiguration weist zahlreiche noch nicht standardisierte Schnittstellen auf, weshalb selbst „interoperable" Systeme nicht ohne Weiteres austauschbar sind. Aufgrund der Weiterentwicklung dieser Schnittstellen sind alternative ERTMS-Lösungen nicht zwangsläufig kompatibel. Gleichzeitig sind die verfügbaren Ressourcen, moderne Versionen projektspezifisch anzupassen, begrenzt. Moderne ERTMS-Systeme sind daher nicht per se die beste Option für den Ersatz bestehender streckenseitiger ERTMS-Systeme.

2 Der Wert der installierten Basis

Die meisten heute in Betrieb befindlichen ERTMS-Level-2-Signalsysteme verfügen bereits über eine computerbasierte Stellwerksinfrastruktur. Diese besteht typischerweise aus zentraler Logikverarbeitung in kontrollierter Umgebung sowie einem „externen" Netzwerk aus Objektcontroller-Schaltschränken zum Erfassen und Steuern der streckenseitigen Elemente. Bei der Beurteilung des Werts der installierten Basis sollten die Eigenschaften der einzelnen Subsysteme getrennt betrachtet werden.

Dieses „externe" Netzwerk stellt ein umfangreiches, entlang der Strecke verteiltes System aus Kabeln und Außenschaltschränken dar. Es umfasst Kommunikationsnetze, Energieversorgungssysteme sowie digitale oder analoge Ein- und Ausgangsverbindungen.

This article refers to the selection indicated in fig. 1. This assembly has various interfaces that have not yet been standardised, which is why even "interoperable" systems cannot simply be replaced. The developments in these interfaces mean that alternative ERTMS signalling system solutions are not necessarily compatible. The capacity to tailor these modern versions is scarce. Modern versions of ERTMS signalling systems are therefore not necessarily the best option as a replacement for a legacy ERTMS trackside system.

2 The value of the installed base

Most signalling systems with ERTMS Level 2 that are currently in operation already have a foundation with a computer-based interlocking infrastructure, typically consisting of central logic processing equipment in controlled environments and an "external" network of object controller cabinets for reading and controlling the wayside objects. The properties of the subsystems should be considered when the value of the installed base is assessed.

This "external" network is an extensive track-bound network of cabling and outdoor cabinets. The network itself consists of communication networks, power cables and digital or analogue input and output cables. The outdoor cabinets house the interface relays for indirectly controlling trackside objects such as switches and signals, digital object controllers that directly drive those objects or a combination of both.

Given that this network has been laid down along entire corridors, full system replacement quickly becomes an invasive

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

In den Schaltschränken befinden sich Schnittstellenrelais zur indirekten Ansteuerung von Weichen und Signalen, digitale Objektcontroller zur direkten Steuerung oder Kombinationen aus beidem.
Da dieses Netzwerk über komplette Streckenkorridore verlegt ist, wird ein vollständiger Systemersatz schnell zu einem stark invasiven Vorhaben mit erheblichem Bedarf an Streckensperrzeiten. Zwar ist eine parallele Installation zur bestehenden Infrastruktur grundsätzlich möglich, dennoch machen gerade diese Vorbereitungs- und Installationsarbeiten einen wesentlichen Teil der Investition und des Aufwands bei einem Komplettaustausch aus. Gleichzeitig bestehen die streckenseitigen Netze aus vergleichsweise einfachen, hochzuverlässigen Komponenten, deren Lebensdauer häufig die des Gesamtsystems übersteigt.
Der Wert eines ERTMS-Signalsystems beschränkt sich jedoch nicht auf die physische Infrastruktur. Sicherheitsnachweise, Zulassungen und Dokumentationen spielen ebenso eine wesentliche Rolle. Während der Entwicklung und Realisierung eines Signalsystems sind zahlreiche Zertifizierungen und Genehmigungen erforderlich, etwa in den Bereichen elektrische Sicherheit, nationale Regelwerke, Arbeitssicherheit, Umweltauflagen, nationale und europäische Eisenbahnsicherheitszulassungen, Cybersecurity sowie Qualitätsmanagement. Ein erheblicher Teil der Gesamtkosten ist in diesen Nachweis- und Dokumentationsprozessen gebunden und erhöht die Komplexität und Kosten bei weitreichenden Änderungen oder einem Komplettaustausch.
Damit wird deutlich, dass der wesentliche Wert einer ERTMS-Signalanlage im stellwerks- und streckenseitigen Rückgrat unterhalb der ERTMS-Ebene liegt.

3 Definition der „End-of-Life"-Phase

In vielen ERTMS-Einführungsprogrammen wird ein vollständiger Systemersatz mit dem Argument begründet, dass die bestehende Anlage das Ende ihrer Lebensdauer erreicht habe. Für eine valide Beurteilung ist jedoch eine präzise Definition des Begriffs „End-of-Life" im Lebenszyklus eines Systems erforderlich. In der Signaltechnik wird hierfür häufig die sogenannte Badewannenkurve herangezogen, nach der sowohl die Anfangs- als auch die Endphase eines Systems durch erhöhte Ausfallraten gekennzeichnet sind.
Ein Anstieg nicht mehr wirtschaftlich beherrschbarer Störungen tritt auf, wenn eine größere Anzahl von Komponenten alterungsbedingt ausfällt. Erreichen diese Störungen ein Niveau, das weder wartungsseitig noch betrieblich tragbar ist, gilt ein System als „End-of-Life". Dies spiegelt sich typischerweise in Kennwerten wie Verfügbarkeit, Betriebszeit, mittlerer Ausfallabstand oder mittlerer Reparaturzeit wider.
Unabhängig davon kann ein System auch dann als „End-of-Life" gelten, wenn einzelne Komponenten nicht mehr repariert oder ersetzt werden können. In der Eisenbahnsicherungstechnik besteht insbesondere bei elektronischen Bauteilen ein hohes Risiko von Lieferengpässen, da diese in anderen Märkten mit kürzeren Produktlebenszyklen eingesetzt werden. Entsprechendes gilt für Software, die langfristig durch Effekte wie den sogenannten 2038-Bug beeinträchtigt werden kann. Werden veraltete Komponenten nicht ersetzt, bleibt letztlich nur die Stilllegung der Anlage.
Auch der Verlust von Fachwissen, Know-how und personellen Ressourcen kann ein End-of-Life-Kriterium darstellen. Fehlen qualifizierte Ingenieure oder Verantwortliche für Instandhaltung, Betrieb oder Fehlerbehebung, ist ein System nicht mehr nachhaltig betreibbar. Zudem können sich regulatorische Rahmenbedin-

exercise requiring significant trackside access. While installation in parallel to the existing infrastructure is typically possible, it is the preparation and installation work associated with the trackside networks that constitutes a major part of the investment and effort aimed at realising a total signalling system replacement. At the same time, these trackside networks consist of relatively low-complexity components with high reliability that are able to outlast the lifespan of the signalling system as a whole.
Not only the physical aspects of the ERTMS signalling system have value. The safety demonstration, certifications and other documentation should be considered as well. Many different certifications and market authorisations are required during the development and realisation of a signalling system. For example, these are related to electrical safety, national rules, worker safety, environmental codes, National Safety Authority railway compliance, European Railway Agency compliance, cybersecurity and quality management systems. A lot of the overhead costs for developing these systems are embedded in the compliance and documentation process in relation to these certifications and authorisations. These add to the complexity and cost when modifying or replacing entire systems.
It becomes clear that the value of an ERTMS signalling system lies for the most part with the interlocking and trackside backbone underneath the ERTMS layer.

3 Defining the "end of life" phase

In many ERTMS deployment programs, full system replacement is considered because the existing installed base is considered to be at its end of life. However, it is important to specify the definition of "end of life" within a system's lifecycle for this to be a valid argument. In the case of signalling systems, we often consider the Bathtub Curve as a method of defining a system's lifecycle, in which the initial and final stages of a system's life are typically high in system errors.
The onset of unsustainable system errors can appear when a large wave of system components starts to age and break down. When the number of errors starts to rise to a level that becomes unsustainable for affordable maintenance or reliable operations, a system can be considered to be at end of life. These are typically expressed in values such as system availability, system uptime, the mean time between failures and the mean time to repair.
In addition to using the Bathtub Curve, a system can also be considered end of life when part of the system can no longer be repaired or replaced. In railway signalling systems there is a high risk of a shortage of electronic components that are massively used in other markets with much shorter lifetimes (e.g. automotive or IT). Such components are no longer produced or supported once these markets are no longer using them. Software is also prone to long-term issues such as the 2038-bug. When no modifications are made to replace the obsolete part, the system must be decommissioned.
Situations can arise where the required expertise, knowledge and resources stop being available. In some cases, this lack of support can arise due to economic drivers. In other cases, they are driven by profit incentives and competitive strategy. When no expert engineers or operators are available to repair, operate or troubleshoot the system, it can be considered end of life. Thus, a system is end of life when it is no longer compatible with its surroundings. When the modernised onboard units can no longer communicate with the trackside communication system, it becomes necessary to retire the trackside system. Likewise, when cybersecurity measures become obligatory

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

gungen – etwa Cybersecurity-Vorgaben oder Weiterentwicklungen der TSI – verändern und tiefgreifende Anpassungen erforderlich machen. ERTMS bringt damit zusätzliche Kompatibilitätsaspekte ein, die ein System vorzeitig an sein Lebensende führen können.

4 Die Herausforderung des Ersatzes eines ERTMS-Signalsystems

Ein Ersatz eines ERTMS-Signalsystems muss ganzheitlich betrachtet werden. Ist ein System am Ende seiner Lebensdauer, lässt sich der Austausch zentraler Komponenten logistisch vergleichsweise einfach realisieren. Der Ersatz zentraler Logik oder Verkabelung kann innerhalb weniger Stunden erfolgen. Demgegenüber bedeutet der Austausch von Objektcontroller-Schaltschränken und insbesondere der streckenseitigen Verkabelung einen erheblichen Kosten- und Zeitaufwand mit Tagen oder Wochen betrieblicher Einschränkungen. Der vorzeitige Ersatz noch funktionsfähiger Komponenten ist aus Nachhaltigkeitssicht kaum sinnvoll. Zudem erfordern Migrationsstrategien zur Reduzierung betrieblicher Auswirkungen komplexe Planungs-, Validierungs- und Abstimmungsprozesse.

Wie bereits angemerkt, ist das Objektcontroller-Netz technisch vergleichsweise einfach und deutlich langlebiger als zentrale digitale Systeme. Die Ausfallrate dieser robusten Außentechnik steigt deutlich langsamer als die komplexer Zentralsysteme. Aufgrund ihrer generischen Funktionalität lassen sich Anpassungen und Nachrüstungen vergleichsweise einfach realisieren. Ein vollständiger Ersatz birgt hingegen das Risiko, wieder in die frühe Phase der Badewannenkurve einzutreten, mit zunächst reduzierter Verfügbarkeit.

Es kann wirtschaftlich nicht sinnvoll sein, eine neue ERTMS-Baseline gemäß aktueller TSI auf zentrale Komponenten aufzusetzen, die sich bereits dem Ende ihrer Lebensdauer nähern. Bild 2 zeigt beispielhafte Badewannenkurven für zentrale und streckenseitige Komponenten und verdeutlicht, wie kritisch der Zeitpunkt neuer TSI-Versionen sein kann.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die zentrale Frage: Wenn eine ERTMS-Signalanlage aufgrund neuer Cybersecurity-Anforderungen oder aktualisierter TSI-Vorgaben eine umfassende Modernisierung erfordert oder wenn zentrale Komponenten nicht mehr unterstützt werden – ist dann der vollständige Ersatz der streckenseitigen Signalanlage tatsächlich die logisch zwingende Antwort?

for critical infrastructure, it becomes impossible to maintain the signalling systems as they are. When international regulations like the TSI evolve due to necessary improvements or optimisations, drastic modifications can be required. ERTMS thereby adds compatibility aspects that can lead a system to become end of life.

4 The challenge of replacing the ERTMS signalling system

All the aspects of replacing an ERTMS signalling system should be considered. When a signalling system is considered to be at the end of its life, imagining a replacement for the central components is logistically quite straightforward. The local cabling can be replaced and the central logic equipment (controller boards or commercial off-the-shelf computers) can be swapped out in a matter of hours. On the other hand, replacing object controller cabinets and especially the cabling along the tracks is an endeavour that would result in significant costs and days or even weeks of operating downtime. Replacing components before their end of life is not favourable from a sustainability perspective. When considering migration strategies to mitigate the impact on operations, the complexity of planning, validating and managing stakeholders is high.

However, as mentioned before, the object controlling network is not technically complex and can be kept alive much longer than the central systems. The Bathtub Curve generally does not rise as fast for this robust outdoor equipment compared to the digitally complex indoor equipment. Moreover, the simplicity of the object controller network makes it less likely to become incompatible with its surroundings. Modifications and retrofitting (form-fit-function) are much more feasible due to its generic functionality. Replacement with a new object controller system brings the risk of entering the infancy stage of the Bathtub Curve, in which the replacement disruptions are followed by a period of reduced reliability.

It may be economically unfeasible to deploy a new ERTMS baseline compliant with the latest TSI on central equipment that is nearing the end of its life. Fig. 2 shows the different typical Bathtub Curves for central and external equipment, while at the same time showing that the timing of a new TSI can be critical for deciding the best way forward. After all, the worst possible time for a new TSI to be released is a few years after an existing system has become end-of-life. With these considerations, the question arises: is an entirely new wayside signalling system the logical answer whenever an ERTMS

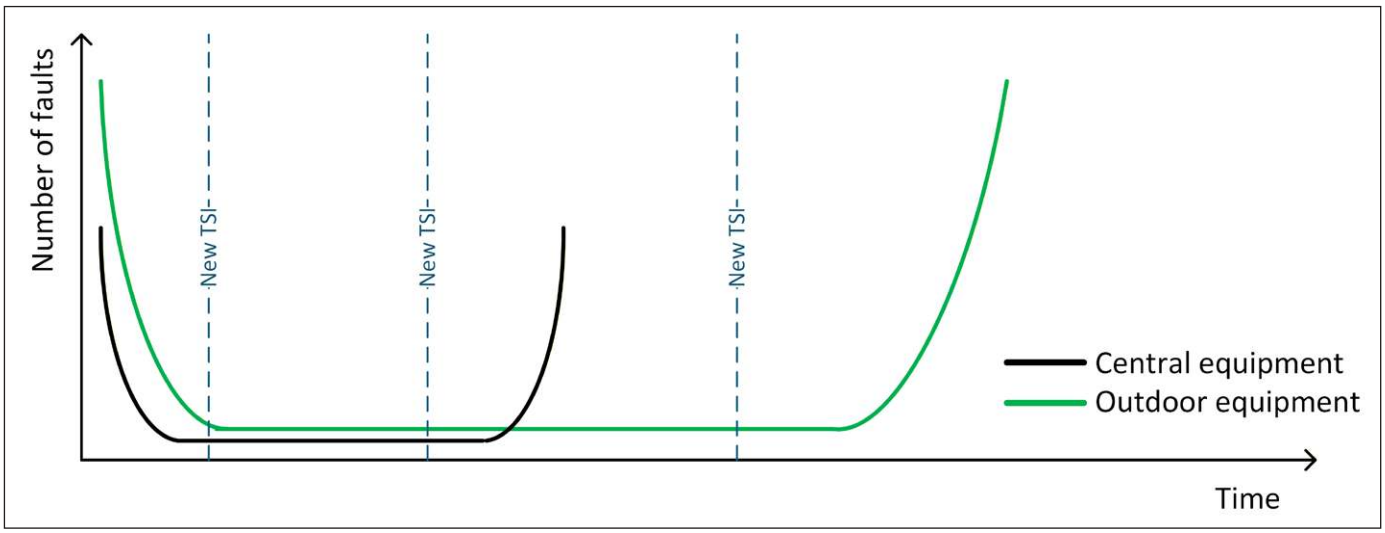


Bild 2: Beispielhafte Badewannenkurven zentraler und streckenseitiger Komponenten
Fig. 2: Indicative bathtub curves for central and outdoor equipment

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

5 Argumente für die Modernisierung zentraler Komponenten

Die gezielte Modernisierung ausschließlich der zentralen Komponenten stellt eine attraktive Alternative zum vollständigen Ersatz einer ERTMS-Signalanlage dar. Das RBC ist das softwareintensivste Subsystem im streckenseitigen ERTMS-Segment und bündelt wesentliche Funktionen wie Kommunikationsprotokolle, Bewegungsfreigaben, Systemparameter sowie Grenz- und Übergabeprozesse.

Bestehende Eurobalisen können dabei grundsätzlich weiterverwendet werden, da ihre Telegramme aus Interoperabilitätssicht überwiegend abwärtskompatibel sind. Bei nachlassender Leistungsfähigkeit können sie schrittweise ersetzt werden.

Da das RBC ein wesentliches Bindeglied in der gesamten Kommunikationskette darstellt, können Systemleistung und -verfügbarkeit durch seine Funktionsweise maßgeblich verbessert oder auch beeinträchtigt werden. Softwarefunktionen entwickeln sich kontinuierlich weiter. Gleiches gilt für die Hardwareplattformen, auf denen das RBC betrieben wird. Software-Baselines werden in der Regel für spezifische Hardwareplattformen entwickelt, getestet und zugelassen, um die geforderten Werte hinsichtlich Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Instandhaltbarkeit sicherzustellen. Für Anwendungen mit Safety Integrity Level (SIL) 4 weisen diese Hardwareplattformen zwar Lebenszyklen von etwa 15 bis 20 Jahren auf und überdauern damit die typische Lebensdauer kommerzieller IT-Hardware (fünf bis sieben Jahre), dennoch treten bei sehr alter Hardware zahlreiche Probleme auf: Prozessoren werden abgekündigt, Reparaturkompetenzen gehen verloren, und unterstützende Software wird inkompatibel. Der Eisenbahnsektor ist dabei ein zu kleiner Markt, um einen langfristigen Support durch Komponentenhersteller nachhaltig einzufordern.

Nach mehreren Jahrzehnten im Betrieb ist es zunehmend unwahrscheinlich, dass neue Software-Releases, die gemäß den aktuellen TSI-Spezifikationen entwickelt wurden, für alle Entwicklungszweige älterer Hardwareplattformen noch bereitgestellt werden. Aus diesem Grund sollte der Austausch der zentralen Hardware und Software idealerweise gemeinsam erfolgen. Insbesondere bei der Umsetzung substanzieller funktionaler Erweiterungen des RBC, einschließlich ERTMS-Baseline-Upgrades, ist die Einbeziehung der Hardware in die Modernisierungsstrategie zwingend erforderlich. Durch die ausschließliche Erneuerung des RBC, bestehend aus neuer Software und neuer Hardware, lässt sich die Lebensdauer einer ERTMS-Signalanlage um viele Jahre verlängern. Der gezielte Austausch des RBC ermöglicht höhere Systemversionen und die Konformität mit neuen TSI-Baselines sowie die Unterstützung von GSM-R, FRMCS und EULYNX. Gleichzeitig wird die Einhaltung aktueller Cybersecurity-Anforderungen sichergestellt und bestehenden Schwachstellen wirksam vorgebeugt. Darüber hinaus verbessert sich die Kompatibilität der streckenseitigen Signalanlage mit ihrer Umgebung deutlich, insbesondere im Hinblick auf die Anbindung an die von den Betriebszentralen genutzten Verkehrsmanagementsysteme.

Die Migration eines RBC auf eine neuere Version kann weitgehend in einer kontrollierten Laborumgebung vorbereitet werden. Nahezu sämtliche Tests lassen sich im Vorfeld durchführen. Darüber hinaus können Anwender bereits vor der Inbetriebnahme in simulierten Umgebungen auf neue Funktionen und Betriebsverfahren geschult werden. Die eigentliche Implementierung im Feld beschränkt sich auf einen Zeitraum von wenigen Stunden. Zudem ist es durchaus denkbar, ein RBC in zentralisierten Rechenzentren der Betreiber zu betreiben – räumlich getrennt von den zugehörigen Stellwerkskomponenten.

signalling system is due a major update so as to comply with newer cybersecurity or TSI standards or when the central equipment has become unsupported?

5 The case for upgrading central equipment

Upgrading only the central equipment is an attractive alternative to full ERTMS signalling system replacement. The RBC is the most software-driven subsystem in the trackside ERTMS signalling system. Most of the ERTMS functionality in the trackside segment is located in the RBC. The communication protocols with onboard units, movement authority distribution, system parameters and border/handover processes all fall under the scope of the RBC.

Legacy Eurobalises, which are part of the installed base, can be kept intact when replacing the central ERTMS signalling systems, since most Eurobalise messages will be backwards compatible from an interoperability perspective. Should the RAM performance of these Eurobalises start to degrade, they can gradually be replaced.

The fact that the RBC is an essential link in the total communication chain means that system performance and availability can be greatly improved or reduced by its functioning. Software functionality evolves over time due to continual development. The same holds true for the hardware platforms on which the RBC operates. Software baselines are often designed, tested and certified for specific hardware platforms to guarantee the required reliability, availability and maintainability values. These hardware platforms for Safety Integrity Level (SIL) 4 rated applications have lifespans (15 to 20 years) far outlasting the lifespan of typical computer equipment (five to seven years). There are often plenty of issues with such old hardware: CPU's go out of production, repair engineers disappear and supportive software becomes incompatible. The railway sector is much too small a market to negotiate long-term support from component manufacturers.

After a service period of decades, it is increasingly unlikely that new software releases developed according to the latest TSI specifications will be released for all the development branches of older hardware platforms. This is why the replacement of the central hardware and software should ideally be combined. When developing substantial RBC functional enhancements, including ERTMS baseline upgrades, the hardware should be included in the upgrade strategy.

A significant number of years can be added to the ERTMS signalling system's life by simply implementing a new RBC, including new software and hardware. Replacing only the RBC directly allows for higher system versions and compliance with new TSI baselines that support GSM-R, FRMCS and EULYNX. They become compliant to the latest cybersecurity norms and prevent various weaknesses. Moreover, as the RBC is the digital interface of the trackside signalling system, its compatibility with its surroundings also improves significantly; such as the link towards the traffic management system used by the area operators.

The migration of an RBC to a newer version can be largely prepared in a controlled laboratory setting. Almost all testing can be done in a laboratory and it is even possible to train users on new procedures and functions in simulated environments. The eventual deployment in the field takes a matter of hours. Moreover, it is not unthinkable that the RBC can be located in operators' centralised data centres, away from its interlocking peers.

The extent to which the (central) interlocking logic is application-based depends on the supplier. In any case, the signalling

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Der Grad der anwendungsbezogenen Ausprägung der (zentralen) Stellwerkslogik ist herstellerabhängig. Unabhängig davon sind die signaltechnischen Grundprinzipien und die daraus abgeleitete Logik deutlich stabiler als die TSI-Vorgaben, denen das RBC unterliegt. Es ist daher nicht ungewöhnlich, dass eine generische Stellwerkslogik die Hardware überdauert, für die sie ursprünglich entwickelt wurde. Die Portierung einer solchen Anwendung, sowohl der generischen als auch der projektspezifischen Anteile, auf neue Hardware ist in der Regel mit einem geringeren Risikoprofil verbunden als die Einführung vollständig neuer Logik. Im Idealfall können sich die Verifikation und Validierung auf Regressions- und Integrationstests beschränken, mit dem Ziel, nachzuweisen, dass insbesondere zeitkritische Funktionen durch die moderne Hardware nicht negativ beeinflusst werden.
Durch die gezielte Aktualisierung der zentralen Hardware und Software von RBC und Stellwerk kann der Wert des streckenseitigen Signalsystems langfristig erhalten bleiben. Gleichzeitig lassen sich neueste Funktionen sowie die Konformität mit aktuellen Normen und Vorschriften realisieren. Dieser Ansatz ermöglicht es zudem, den Bedarf an signaltechnischen Engineering-Ressourcen auf ein Minimum zu begrenzen – ein entscheidender Vorteil in Ländern, in denen der großflächige Rollout moderner ERTMS-Signalsysteme bereits erhebliche Kapazitäten bindet.

6 Gegenargumente

Typische Einwände gegen eine Modernisierung, die sich ausschließlich auf die ERTMS-Ebene beschränkt, liegen zunächst nahe, lassen sich bei genauerer Betrachtung jedoch häufig relativieren, insbesondere aus der Kosten-Nutzen-Perspektive.
„Wir benötigen einen vollständigen Neuanfang, um das System zukunftssicher zu machen" – Dieses Ziel ist grundsätzlich nachvollziehbar. Zukunftssicherheit bedeutet jedoch vor allem Harmonisierung und Vereinfachung. In der Praxis werden Stellwerkslogiken bei der Einführung von ERTMS jedoch selten vereinfacht. Vielmehr muss bestehende Stellwerksfunktionalität häufig für das neue System erneut entwickelt werden. Damit bleiben bestehende signaltechnische Prinzipien erhalten, während gleichzeitig Kosten steigen. Ein solcher Ansatz ist weder aus Wissens- noch aus Interoperabilitätssicht wirklich zukunftssicher.
„Bestehende Stellwerke sind mit modernen RBC nicht kompatibel" – Diese Aussage trifft insbesondere auf relaisbasierte Stellwerke zu. Der vorliegende Beitrag bezieht sich jedoch auf die Modernisierung eines bereits rechnerbasierten Systems, das seit den frühen Phasen der ERTMS-Einführung (~ 2005) in Betrieb ist. Zudem werden RBC, ähnlich wie bei den zuvor genannten Argumenten, selten ausschließlich mit Standardfunktionen implementiert. Ein modernisiertes RBC kann so ausgelegt werden, dass es bestehende, proprietäre Schnittstellen unterstützt und gleichzeitig auf offene Schnittstellen wie Euroradio+, FRMCS oder EULYNX vorbereitet ist.
„Die Beibehaltung der vorhandenen Gleisgeometrie ermöglicht keine Kapazitätserhöhung" – In der Vergangenheit war es erforderlich, eine vollständige Neugestaltung der streckenseitigen Anlagen vorzunehmen, um die Kapazitätsvorteile eines reinen European Train Control System (ETCS) Level 2 voll auszuschöpfen. Inzwischen setzt sich jedoch zunehmend ETCS L2 mit Integritätsüberwachung durch. Die Berücksichtigung dieses Konzepts im Rahmen eines RBC-Upgrades eröffnet neue Möglichkeiten zur Kapazitätssteigerung. Mit der Umstellung auf reine ETCS-Fahrzeugflotten lassen sich darüber hinaus Einsparungen erzielen, etwa durch den Rückbau streckenseitiger Signale und eine Reduzierung der streckenseitigen Zugdetektion.

principles and resulting logic are much more stable than the TSIs with which the RBC must comply. For the interlocking, it is not uncommon that a generic logic application outlives the hardware it was designed for. Porting such an application (both generic and specific) to newer hardware has a lower risk profile than deploying entirely new logic. In an optimal case, the verification and validation of the porting could be limited to regression and integration testing, thereby confirming that the delicate timing within functions is not adversely affected by the modern hardware.
Updating the central RBC and interlocking hardware and software means that the value of the trackside system may be salvaged. The latest functionality and compliance to norms and regulations may be achieved using this strategy. This approach allows for a minimal signalling engineering capacity demand, which is typically scarce in countries where a major rollout of modern ERTMS signalling systems is ongoing.

6 Counterarguments

Typical arguments against upgrading only the ERTMS layer seem evident, but are often equally easy to dismiss; especially when considered from a cost-benefit perspective.
"We need a clean slate to future-proof the system" – while this is a good ambition, future-proofing means harmonising and simplifying. Interlocking logic is rarely simplified when ERTMS is implemented; rather, the existing interlocking functionality must be redeveloped for the new system. This maintains legacy principles, increases costs and is not futureproof from either a knowledge basis or an interoperability perspective.
"Legacy interlockings are incompatible with modern RBCs" – while this holds true for relay-based interlockings, this paper has described the modernisation of an already computer-based system that has been in operation since the very early stages of ERTMS deployment (~2005). As with the previous counterargument, RBCs are rarely implemented with only off-the-shelf functionality. The upgraded RBC can be designed to support the legacy interface but simultaneously be prepared for an open interface such as Euroradio+, FRMCS or EULYNX.
"Maintaining the existing track layout does not allow a capacity increase" – the execution of a full trackside redesign was previously required to leverage the potential capacity benefits of pure European Train Control System (ETCS) Level 2. Now, L2 with integrity monitoring is becoming more commonplace. Including this concept in a new RBC upgrade presents an opportunity for more efficient capacity increase, while a move to ETCS-only fleets means that savings could be realised by decommissioning wayside signals and economising on trackside train detection.

7 Conclusion: the strategic implications for infrastructure managers

Many first-generation ERTMS signalling systems are nearing their "end of life". At the same time, many countries are also facing the daunting challenge of implementing modern versions of ERTMS.
Given all the characteristics and implications of replacing a complete ERTMS signalling system, it has become interesting for Infrastructure Managers to consider upgrading the central parts of the system and leaving the interlocking logic and trackside network intact. This requires a shift in mindset, in which the various subsystems are to be analysed separately within the total system.

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

7 Fazit: strategische Implikationen für Infrastrukturbetreiber

Viele ERTMS-Signalsysteme der ersten Generation nähern sich ihrem „End-of-Life". Gleichzeitig stehen zahlreiche Länder vor der Herausforderung, erheblich modernere ERTMS-Versionen großflächig einzuführen.

Vor dem Hintergrund der technischen, betrieblichen und wirtschaftlichen Auswirkungen eines vollständigen Ersatzes eines ERTMS-Signalsystems wird es für Infrastrukturbetreiber zunehmend interessant, die gezielte Modernisierung zentraler Systemkomponenten zu prüfen und gleichzeitig Stellwerkslogik sowie streckenseitige Netze weiter zu nutzen. Dies erfordert einen Perspektivwechsel, bei dem die verschiedenen Subsysteme innerhalb des Gesamtsystems separat analysiert werden.

Auf allen Ebenen des Bahnsystems können bestehende Assets unabhängig voneinander bewertet werden. Die Planung mehrerer, aufeinander abgestimmter Modernisierungsphasen unter Berücksichtigung von Synergien in den Migrationsstrategien ist dabei besonders sinnvoll, insbesondere in einem Umfeld begrenzter Budgets für Innovationen in der Eisenbahninfrastruktur.

Funktionale Weiterentwicklungen der installierten Basis werden unter anderem durch FRMCS, Cybersecurity-Anforderungen sowie bereits identifizierte Langzeitprobleme wie den 2038-Bug erforderlich. Ein Modernisierungsansatz, der sich auf den Austausch zentraler Komponenten beschränkt und das streckenseitige Netz unverändert lässt, kann dabei einen kosteneffizienten und schrittweisen Weg darstellen, um das gesamte streckenseitige Signalsystem zukunftsfähig zu machen.

Die Verlängerung der Lebensdauer bestehender ERTMS-Anlagen der frühen Generation kann somit sowohl die Ausweitung des ERTMS-Netzes beschleunigen als auch gleichzeitig die Kosten reduzieren. ■

The assessment of the existing assets can be undertaken independently for all the layers of the railway system. Planning different upgrade phases while considering synergies in migration strategies would be very worthwhile, especially so in a climate where budgets for railway infrastructure innovation are limited.

Functional evolutions for the installed base will be required because of FRMCS, cybersecurity and already identified issues such as the 2038-bug. However, the approach of upgrades limited to the replacement of central equipment, while leaving the trackside network unchanged, may provide a cost-effective and gradual way of preparing the entire wayside signalling system for the future.

Extending the life of existing early generation ERTMS systems could accelerate the expansion of the ERTMS network and reduce costs at the same time. ■

AUTOREN | AUTHORS

Mika Dijkstra
Safety Assurance Manager
E-Mail: mika.dijkstra@alstomgroup.com

Mark van Hesse
System Architect
E-Mail: mark.van-hesse@alstomgroup.com

Sander Willer
System Designer
E-Mail: sander.willer@alstomgroup.com

Alle Autoren / *all authors:*
Alstom Netherlands B.V.
Anschrift / *Address:* Vliegend Hertlaan 45, NL-3526 KT Utrecht

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Rückwärtsfahren mit ETCS – die Anwendung der Betriebsart Reversing

Driving in reverse with ETCS – the application of Reversing mode

Tim Rothbarth | Richard Kahl

Bedingt durch die baulichen Eigenschaften und die bei Störfällen auftretenden physikalischen Rahmenbedingungen, besteht in Eisenbahntunnel eine hohe Wahrscheinlichkeit für Personen- und Sachschäden. Beispiele dafür sind die Brandkatastrophen in der Gletscherbahn „Kaprun 2" im Jahr 2000 oder im Mont-Blanc-Tunnel ein Jahr zuvor. Beide Ereignisse zeigen, dass die beengten Platzverhältnisse sowie mögliche Luftströmungen in der Tunnelröhre zu sehr hohen Temperaturen und Rauchgaskonzentrationen führen können. Die aktuellen betrieblich-technischen Lösungen zur Evakuierung werden den Anforderungen zur Schadensminimierung nur bedingt gerecht, wobei das European Train Control System (ETCS) vielversprechende Nutzungsmöglichkeiten vorsieht.

1 Evakuierung im Brandfall – Status quo

Bei spurgeführten Verkehrssystemen setzen bisherige Rettungskonzepte im Wesentlichen auf

- Selbstrettung der Fahrgäste unter Begleitung des Zugpersonals oder
- Zurückfahren des Zuges zu einem sicheren Ort.

Das Konzept der Selbstrettung kann, speziell bei mobilitätseingeschränkten Fahrgästen, nur bedingt angewendet werden, da einerseits ein Höhenunterschied zwischen Zug und Rettungsweg überwunden und andererseits Wege zu Fuß (z. B. zu einem Notausgang im Tunnel) zurückgelegt werden müssen.

Für das Rückwärtsfahren eines Zuges sind betriebliche und technische Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. So kann beispielsweise ein Güterzug nicht ohne weiteres Personal zurücksetzen [1], da sich der Triebfahrzeugführer (Tf) an der ursprünglichen Spitze des Zuges befindet, die nun das Zugende bildet. Für den Fall, dass, wie bei Reisezügen nicht unüblich, am hinteren Ende ein weiterer Führerstand vorhanden ist, könnte der Tf diesen besetzen. Im Brandfall ist dies jedoch nur verzögert möglich, da der Tf einen Fußweg zurücklegen muss. Im Idealfall führt dieser durch den Triebzug, und der Tf muss ggf. nur den durch Fahrgäste und Gepäck erschwerten Weg zurücklegen, was aber wertvolle Zeit kostet. Im Fall gekuppelter, aber nicht durchgehender Einheiten (z. B. zwei gekuppelte Triebzüge) muss der Tf hierfür einen Weg außerhalb und damit im möglicherweise schon verrauchten Tunnel (Gefahrenbereich) zurücklegen.

Neben den skizzierten technischen Bedingungen ergeben sich betriebliche Faktoren, die für eine solche Rückwärtsfahrt beachtet werden sollten. Damit gemäß Fahrdienstvorschrift der DB InfraGO ein Zug zurücksetzen kann, müssen durch das Stellwerkspersonal Vorbedingungen (z. B. Verständigung beteiligter Stellen, Eingabe von Merkhinweisen und Hilfssperren, Sicherung des Fahrwegs) erfüllt werden. Anschließend muss dem Zurücksetzen durch Befehl des

The structural characteristics of railway tunnels and the physical conditions that arise during any incidents pose a high probability of personal injury and property damage. Examples include the fires on the Kaprun 2 glacier railway in 2000 and in the Mont Blanc Tunnel a year earlier. Both events demonstrate that the confined space and potential air currents within the tunnel can lead to extremely high temperatures and smoke concentration. The current operating and technical evacuation solutions only partially meet the requirements for minimising damage, although the European Train Control System (ETCS) offers promising potential applications.

1 Evacuation in the case of fire – the status quo

In rail-guided transport systems, current rescue concepts primarily rely on:

- passengers rescuing themselves with the assistance of train staff, or
- the train returning to a safe location.

The self-rescue concept can only be applied to a limited extent, especially for passengers with reduced mobility, because, on the one hand, it is necessary to overcome the difference in elevation between the train and the escape route and, on the other hand, any distances (e.g. to an emergency exit in a tunnel) must be covered on foot.

Operating and technical constraints must be considered when reversing a train. For example, a freight train cannot simply reverse without any additional personnel [1], as the driver is located at the original front of the train, which now forms the rear. If, as is not uncommon with passenger trains, there is another driver's cab at the rear, the driver could occupy it. However, in the event of a fire, this is only possible with a delay, as the driver has to walk. Ideally, this route leads through the train and the driver only has to cover a path that may be obstructed by passengers and luggage, but this still costs valuable time. In the case of coupled units without any direct passage (e.g. two coupled trainsets), the driver has to travel outside the tunnel and thus potentially through a smoke-filled environment (danger zone).

In addition to the outlined technical conditions, there are also operating factors that should be considered for such a reverse movement. According to the DB InfraGO operating regulations, the signal box personnel must fulfil certain prerequisites in order for a train to reverse (e.g. notifying the relevant parties, entering warnings and auxiliary locks and securing the route). Subsequently, the reversal must have been authorised by the train dis-

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Fahrdienstleiters zugestimmt werden [1]. Auch bei Anwendung eines digitalen Befehls ist hier ein Zeitbedarf anzunehmen, der vermutlich nicht zur Verfügung steht. Hinzu kommt die notwendige Fahrtzeit zum Verlassen des Gefahrenbereichs (ggf. sogar des gesamten Tunnels), die bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 20 km/h [1] ebenfalls nicht unerheblich ist.
Beides steht im Widerspruch zu einer schnellstmöglichen Evakuierung im Brandfall und erfordert moderne Lösungsansätze, die ETCS bieten kann.

2 Zurücksetzen zur Störungsbewältigung

Es gibt eine Vielzahl möglicher Störungssituationen, infolge derer Züge nicht mehr die Fahrt in der ursprünglichen Fahrtrichtung fortsetzen können. Die Ursachen dafür lassen sich im Wesentlichen einteilen in

- direkt fahrzeugbedingt (z. B. Störung am führenden Führerstand),
- indirekt fahrzeugbedingt (durch eine Störung an einem anderen vorausbefindlichen Zug) oder
- infrastrukturbedingt (z. B. Weichenstörung im Fahrweg).

Unabhängig von der Störungsursache besteht das Ziel, den Betrieb möglichst verspätungsarm weiterzuführen und Fahrgäste möglichst schnell aus einer sich daraus ergebenden Zwangslage (auch Verspätung) zu befreien.
Sofern möglich, könnte in solchen Fällen das Rückwärtsfahren eine Lösung darstellen, Reisende zeitnah aus derartigen Situationen zu entlassen und gleichzeitig auch dazu beitragen, Verspätungen und deren Auswirkungen zu reduzieren. Diese Annahme gilt für das gesamte Eisenbahnnetz und somit auch außerhalb von Tunneln.

3 ETCS-Mode Reversing

Die in den ETCS-Spezifikationen [2] definierte Betriebsart (Mode) Reversing (RV) ermöglicht es, einen Zug ohne Führerstandswechsel an einen „sicheren Ort" fahren zu lassen, was auch durch Rückwärtsfahren geschehen kann.
In Europa kommt RV in einigen langen Eisenbahntunneln (z. B. Gotthard-Basistunnel, Lötschberg-Basistunnel, Koralmtunnel) schon heute zum Einsatz oder ist in Planung (z. B. Semmering-Basistunnel). Auch im Erzgebirgstunnel auf der Neubaustrecke (NBS) Dresden – Prag wird der Einsatz aktuell geprüft, was durch eine Diplomarbeit [3], betreut durch die Professur für Verkehrssicherungstechnik der TU Dresden, untersucht wurde und eine Erstanwendung im deutschen Eisenbahnnetz darstellen würde.
In einigen Tunneln mit RV-Ausrüstung wurde in der Vergangenheit die Anwendung auch bei Betriebsstörungen praktiziert. So z. B. seit 17. Oktober 2022 im Gotthard-Basistunnel. Dabei fahren die Züge nicht zwangsläufig aus dem Tunnel heraus, sondern können auch nur bis zu einer im Tunnel vorhandenen „Multifunktionsstelle" (vergleichbar mit einer Überleitstelle) zurücksetzen, um anschließend die Fahrt in der anderen Tunnelröhre in ursprünglicher Fahrtrichtung fortzusetzen.

4 Technische Voraussetzungen gemäß ETCS-Spezifikationen

Die ETCS-Spezifikationen [2] ordnen RV als ETCS-Mode mit eingeschränkter Überwachung ein. Dabei sollen die Voraussetzungen für die Rückwärtsfahrt möglichst einfach und zeitsparend umgesetzt werden. Zur Fahrt in RV sind, neben Handlungen des Tf auf dem Führerstand, zwei Datenpakete erforderlich, die an den ETCS-Fahrzeugrechner (European Vital Computer – EVC) gesendet werden müssen.

patcher [1]. Even when using a digital command, a time requirement must still be assumed, which is likely unavailable. Furthermore, the necessary travel time to leave the danger zone (possibly even the entire tunnel) must also be taken into account, which is likewise not insignificant at a maximum permissible speed of 20 km/h) [1].
Both these things contradict the need for the fastest possible evacuation in the event of a fire and require modern solutions, which ETCS can offer.

2 Reset to disruption management

There are numerous possible disruptions that can prevent trains from continuing their journeys in the original direction. The causes can be broadly categorised as:

- directly related to the train (e.g. a malfunction in the leading driver's cab),
- indirectly related to the train (due to a malfunction in a train ahead) or
- related to the infrastructure (e.g. a points failure on the track).

Regardless of the cause, the goal is to maintain service with minimal delays and to extricate passengers from any resulting inconvenience (including delays) as quickly as possible. Where feasible, reversing the train's movement could provide a solution in such cases, thereby allowing passengers to be released from these situations promptly and simultaneously helping reduce delays and their impact. This assumption applies to the entire railway network, including the areas outside tunnels.

3 ETCS mode Reversing

The operating mode (mode Reversing or RV) defined in the ETCS specifications [2] allows a train to travel to a "safe place" without a change of driver, which can also be achieved by reversing.
In Europe, RV is already in use in some long railway tunnels (e.g. the Gotthard Base Tunnel, Lötschberg Base Tunnel, Koralm Tunnel) or is planned for use (e.g. the Semmering Base Tunnel). Its use is also currently being examined in the Erzgebirge Base Tunnel on the new Dresden – Prague high-speed line (NBS), as investigated in a diploma thesis [3] supervised by the Chair of Railway Signalling and Transport Safety Technology at TU Dresden, and would represent the first application in the German railway network.
Its use has also been practiced in the past in some tunnels equipped with reversing equipment during disruptions to operations. For example, this has been the case in the Gotthard Base Tunnel since October 17, 2022. The trains do not necessarily have to exit the tunnel, but can also reverse to a "multifunctional point" (comparable to a crossover point) located in the tunnel, in order to then continue their journey in the original direction of travel in the tunnel's other tube.

4 The technical requirements according to ETCS specifications

The ETCS specifications [2] classify reversing as an ETCS mode with limited monitoring. The requirements for reverse operations should be implemented as simply and quickly as possible. In addition to actions by the train driver in the cab, two data packets are required to operate in reverse mode; these must be sent to the ETCS on-board computer (European Vital Computer – EVC).

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

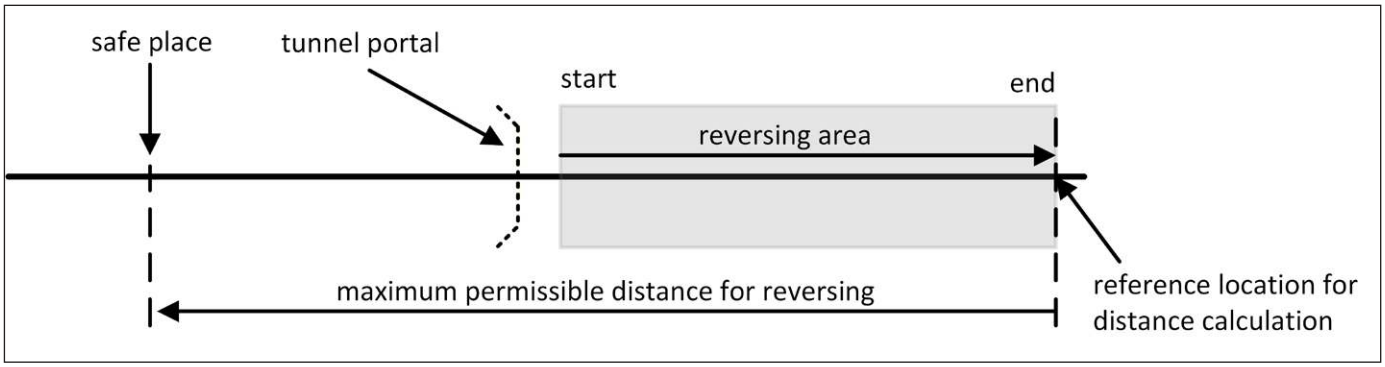


Bild 1: Beispielhafte Darstellung einer Reversing Area (grau) mit Darstellung der bei Reversing zurückzulegenden Distanz
Fig. 1: An example of a reversing area (grey) showing the distance to be covered during reversing

4.1 Paket 138 – Reversing Area Information

Mittels des Pakets 138 wird eine Reversing Area (Bild 1 – reversing area) definiert. Diese beschreibt den Bereich, in dem bei Stillstand des Zuges der Wechsel in den ETCS-Mode RV und somit der Wechsel der Fahrtrichtung, ohne die Änderung der Orientierung des Zuges bezogen auf die Position des Führerstands, zulässig ist. Begrenzt wird die Reversing Area durch einen definierten Start- und Endpunkt. Letzterer dient bei der Fahrt in RV als Referenzpunkt für die Wegmessung durch das Fahrzeug. Aufgrund der Tatsache, dass die Reversing Area lediglich den Bereich des zulässigen Richtungswechsels beschreibt, sind die Reversing Areas meist sehr viel kleiner als der Bereich, in dem sich ein Zug mit RV bewegt.

In [2] wird das Vorhandensein von Reversing Areas nicht auf Tunnelbereiche beschränkt. Zudem werden zwei grundsätzliche Verfahren zur Übermittlung des Pakets 138 an den EVC beschrieben. Einerseits kann Paket 138 stets (bspw. durch eine Balise) an das Fahrzeug übertragen werden. Eine entspreche Anzeige zur Möglichkeit des Wechsels nach RV erhält der Tf aber nur nach Halt des Zuges. Diese Variante wird auch als „feste Reversing Area" bezeichnet. Charakteristisch dafür sind definierte Szenarien für den Wechsel und die Fahrt in RV. Dies bietet sich beispielweise bei Tunneln mit vielen Nothaltestellen an, bewirkt aber umgekehrt eine Kapazitätseinschränkung der Strecke, da bei dieser Variante stets mit der Fahrt eines Zuges in RV gerechnet werden muss, bis dieser die nächste Reversing Area erreicht hat. Begründet ist dies insbesondere auch durch die Tatsache, dass Paket 138 stets gemeinsam mit einem Paket 139 (siehe nachfolgender Abschnitt) übertragen werden soll.

Eine alternative Möglichkeit besteht darin, Paket 138 (und auch Paket 139) für jeden RV-Vorgang individuell durch die ETCS-Zentrale (Radio Block Centre – RBC) zu übertragen. Dabei wird für den entsprechenden Zug, basierend auf Vorgänge im Stellwerk (z. B. Einstellen einer entsprechenden rückwärtsorientierten Fahrstraße), eigens eine Reversing Area aufgespannt. Diese können als „flexible Reversing Areas" bezeichnet werden.

4.2 Paket 139 – Reversing Supervision Information

Neben den Informationen, dass der Fahrtrichtungswechsel und die Rückwärtsbewegung zulässig sind, benötigt der EVC Informationen zur möglichen Fahrt in RV, die mittels Paket 139 „Reversing Supervision Information" übertragen werden. Dabei wird dem EVC die zulässige Distanz – bezogen auf den Endpunkt der Reversing Area – und die zulässige Höchstgeschwindigkeit für die Fahrt in RV übermittelt. Diese Höchstgeschwindigkeit wird nicht durch einen nationalen Wert definiert, sondern ergibt sich aus der Abwägung einer Vielzahl von Kriterien durch den Betreiber der Eisenbahninfrastruktur. So gilt bspw. bei der Schweizerische Bundesbahnen AG (SBB)

4.1 Packet 138 – Reversing area information

Packet 138 defines a reversing area (fig. 1). This describes the area in which switching to ETCS RV mode and thus changing the direction of travel is permitted in a stationary train without changing the train's orientation relative to the driver's cab. The reversing area is bounded by a defined start and end point. The latter serves as a reference point for the vehicle's distance measurement when travelling in RV mode. Given that the reversing area only describes the area of permissible direction changes, reversing areas are usually much smaller than the area in which a train actually travels in RV mode.

The existence of reversing areas in [2] is not limited to tunnel sections. Furthermore, two fundamental methods for transmitting Packet 138 to the EVC are described. On the one hand, Packet 138 can always be transmitted to the vehicle (e.g. via a balise). However, the train driver only receives the corresponding indication of the possibility of switching to reversing once the train has come to a stop. This variant is also referred to as a "fixed reversing area". It is characterised by defined scenarios for the switch and the journey in reversing. This is suitable, for example, for tunnels with many emergency stops, but conversely, it also results in a track capacity restriction, since this variant means that a train must always be expected to be reversing until it reaches the next reversing area. This is also particularly based on the fact that Packet 138 should always be transmitted together with Packet 139 (see the following section).

An alternative option involves transmitting Packet 138 (and also Packet 139) individually for each reversing operation via the ETCS Radio Block Centre (RBC). In this case, a separate reversing area is defined for the corresponding train based on the operations in the interlocking (e.g. setting a corresponding reverse-oriented route). These can be referred to as "flexible reversing areas".

4.2 Packet 139 – Reversing Supervision Information

In addition to the information as to the fact that reversing and moving in reverse are permitted, the EVC also requires information on the possible operation in reverse (RV), which is transmitted via Packet 139 "Reversing Supervision Information." This packet provides the EVC with the permissible distance – relative to the endpoint of the reversing area – and the permissible maximum speed for the reversing operation. This maximum speed is not defined by a national value but results from the consideration of numerous criteria by the railway infrastructure operator. For example, Schweizerische Bundesbahnen AG (SBB) and BLS AG have a maximum speed of 80 km/h within tunnels and 40 km/h in the tunnel portal area [3].

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

und BLS AG innerhalb der Tunnel eine Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h, im Bereich der Tunnelportale 40 km/h [3].
[2] fordern, dass mit Paket 138 auch Paket 139 zu übertragen ist. Gleichzeitig ist definiert, dass ein bestehendes Paket 139 immer durch ein neu empfangenes überschrieben wird. Demnach wird bei festen Reversing Areas immer eine vorher projektierte Distanz und Geschwindigkeit übertragen. Bei einer flexiblen Reversing Area kann dies in Abhängigkeit von dem konkret gesicherten Fahrweg erfolgen, was mehr Freiheitsgrade bei der Behebung der Gefahren- oder Störungssituation ermöglicht. Erst nach Erhalt beider Pakete durch den EVC und den Wechsel in den Mode RV ist es möglich, die Fahrtrichtung zu wechseln und Rückwärtsbewegungen durchzuführen.
Während der Fahrt wird seitens des EVC die Einhaltung der in Paket 139 enthalten Höchstgeschwindigkeit und die RV-Distanz überwacht. Eine Geschwindigkeitsüberwachung mittels Bremskurven erfolgt allerdings nicht. Es liegt in der Verantwortung des Tf, die zulässige Geschwindigkeit und Distanz einzuhalten. Bei Überschreitung erfolgt eine fahrzeugseitige Bremsung, jedoch kein Wechsel in die ETCS-Betriebsart Trip. Je nach Festlegung des Infrastrukturbetreibers können für die Fahrt in RV verschiedene Geschwindigkeiten, in Abhängigkeit von der Trassierung, projektiert werden. Der Wechsel der zulässigen RV-Geschwindigkeit kann durch ein neues Paket 139 erfolgen, kann jedoch technisch nicht angekündigt werden. Hier liegt es in der Verantwortung des Tf, diesen Geschwindigkeitswechsel zu kennen und entsprechend darauf zu reagieren, was sich in der praktischen Umsetzung schwierig gestaltet. Allerdings könnte der Tf durch automatisierte Textmeldungen auf einen Geschwindigkeitswechsel hingewiesen werden, was die Informationslücke schließen würde.

5 Abweichungen zum ETCS-Funktionsumfang

Durch Festlegungen in den Spezifikationen stehen bei der Anwendung von RV eine Vielzahl der üblichen Funktionalitäten von ETCS nicht zur Verfügung. Neben der schon beschriebenen fehlenden Bremskurvenüberwachung betrifft dies vor allem

- Linking,
- Gradient Profile und International Static Speed Profile (SSP),
- RBC Transition Order und
- Track Conditions.

Dieser reduzierte Funktionsumfang wurde bewusst gewählt, um im Evakuierungsfall Fahrten in RV mit möglicherweise fehlerbehafteten oder falsch verarbeiteten Informationen nicht zu blockieren. Ziel ist es, Fahrten in RV möglichst robust gegen derartige Fehlerquellen zu machen, da im Evakuierungsfall die Gesundheit von Personen an erster Stelle steht. Zugleich erzeugen diese unterdrückten Funktionalitäten negative Auswirkungen bzw. Einschränkungen, auf die nachfolgend kurz eingegangen werden soll.

5.1 Linking

Die Nichtverfügbarkeit von Linking sorgt dafür, dass Balisengruppen nicht mehr als „Last Relevant Balise Group (LRBG)" genutzt werden können. Infolgedessen können die, sich während der Fahrt aufsummierten, Odometriefehler nicht zurückgesetzt werden. Somit vergrößert sich mit der in RV zurückgelegten Strecke das zulässige Konfidenzintervall (+/- 5 m + 5 % der zurückgelegten Strecke seit der LRBG) für die Ortung. Bild 2 zeigt dies schematisch.
Dies sorgt dafür, dass für Fahrten in RV zum Teil sehr viel mehr Fahrweg gesichert werden muss, als tatsächlich benötigt wird. Beispielsweise sichert die BLS AG bei einer erforderlichen RV-Distanz von 10 000 m einen Fahrweg mit der Länge von 12 105 m [3]. Entsprechende Auswirkungen sind bei der Projektierung zu berücksichtigen.

[2] requires Packet 139 be transmitted along with Packet 138. Furthermore, the existing Packet 139 is defined as always being overwritten by the newly received one. Therefore, a previously planned distance and speed are always transmitted for fixed reversing areas. Flexible reversing areas mean that this can be achieved subject to the specific secured travel path, thereby allowing for more degrees of freedom when resolving hazardous or fault situations.
Only after the EVC has received both packets and switched to RV mode is it possible to change direction and reverse.
Throughout the journey, the EVC monitors the compliance with the maximum speed and the reversing distance specified in Packet 139. However, speed monitoring via braking curves is not performed. It is the train driver's responsibility to ensure that the permissible speed and distance are maintained. The train brakes if the limits are exceeded, but does not switch to ETCS Trip mode. Various speeds can be configured for RV depending on the infrastructure manager's specifications and the track layout. A change in the permissible reversing speed can be triggered by a new Packet 139, but this cannot be announced technically. It is the train driver's responsibility to be aware of this speed change and to react accordingly, which is difficult to do in practice. However, the train driver could be notified of a speed change via automated text messages, which would close this information gap.

5 Deviations from the ETCS functional scope

Many of the usual ETCS functionalities are unavailable when using RV due to the specifications. In addition to the previously described lack of brake curve monitoring, this primarily affects

- Linking
- the Gradient Profile and International Static Speed Profile (SSP)
- the RBC Transition Order and
- the Track Conditions.

This reduced functionality was a deliberate choice so as to prevent any potentially faulty or incorrectly processed information from blocking RV journeys during evacuations. The goal is to make reversing journeys as robust as possible against any such sources of error, as the health of people is paramount during evacuations. At the same time, however, these suppressed functionalities do have some negative consequences and limitations, which will be briefly discussed below.

5.1 Linking

The unavailability of linking means that balise groups can no longer be used as load-relevant balise groups (LRBGs). Consequently, the odometry errors accumulated during travel cannot be reset. Therefore, the permissible confidence interval (± 5 m + 5 % of the distance travelled since the LRBG) for positioning increases with the distance travelled in reversed mode. Fig. 2 illustrates this schematically.
This means that significantly more track length must be secured for reversing operations than is actually needed. For example, BLS AG secures a track length of 12,105 m for a required reversing distance of 10,000 m [3]. The corresponding effects must be taken into account during project planning.

5.2 The Gradient Profile and International Static Speed Profile (SSP)

During a reversing operation, the EVC cannot receive the usual information regarding the gradient and speed profile of the track. Here, too, it is the sole responsibility of the train driver to

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

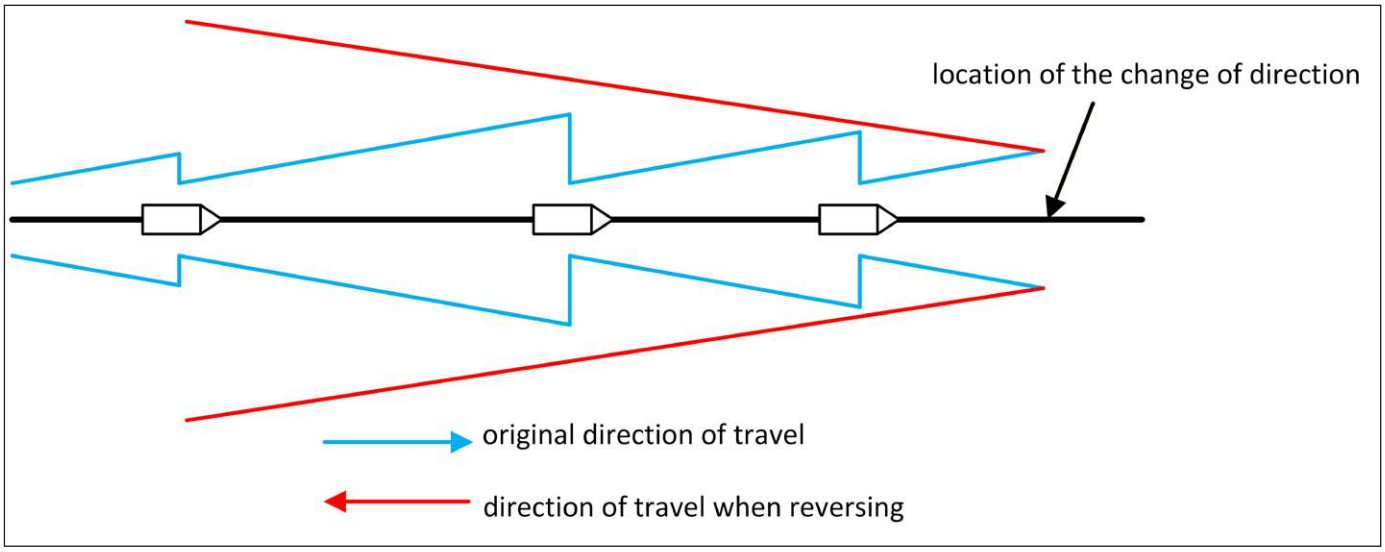


Bild 2: Prinzipdarstellung für das Anwachsen des Konfidenzintervalls bei Reversing. Die qualitative Größe des Konfidenzintervalls wird durch die vertikale Abweichung von der schwarzen Gleisachse dargestellt.
Fig. 2: A schematic representation of the increase in the confidence interval during reversing. The qualitative size of the confidence interval is represented by the vertical deviation from the black track axis.

5.2 Gradient Profile und International Static Speed Profile (SSP)

Dem EVC können bei einer Fahrt in RV nicht die üblichen Informationen hinsichtlich der Neigungsverhältnisse und des Geschwindigkeitsprofils der Strecke übertragen werden. Auch hier liegt es in der alleinigen Verantwortung des Tf, die Geschwindigkeit und die Bremseinsatzpunkte anhand der Streckenkenntnis und seiner Erfahrungen zu wählen. Es ist demnach eine RV-Geschwindigkeit zu wählen, die geringer als die Streckenhöchstgeschwindigkeit im gesamten RV-Anwendungsbereich ist.

5.3 RBC Transition Order

Durch die ETCS-Spezifikationen wird die Information „RBC Transition Order" bei Fahrt in RV ausgeschlossen – eine Fahrt über eine RBC-Grenze ist somit grundsätzlich nicht möglich. In sehr speziellen Fällen, z. B. bei Beginn der Fahrt in RV im Bereich eines RBC-Übergangs, existieren wenige Grenzfälle, bei denen die Fahrt über die RBC-Grenze aber doch möglich sein kann. Darauf soll aber an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden, da es sich wie bereits erwähnt um Ausnahmen handelt, welche für ein schlüssiges Evakuierungskonzept nicht berücksichtigt werden können. Der Umstand, dass bei Fahrt in RV ein RBC-Wechsel nicht möglich ist, führt de facto zu einem Nutzungsausschluss von RV in RBC-Grenzbereichen. Dies sollte durch geeignete Wahl der RBC-Grenze, z. B. außerhalb und in geeignetem Abstand von Tunneln, vermieden werden. Eine weitere Option ist die Überlappung der RBC-Verantwortlichkeit in den Bereich des jeweils benachbarten RBC und die Übertragung der Fahrweginformationen an beide RBC. Somit könnte eine Fahrt in RV über eine RBC-Grenze stattfinden, ohne einen RBC-Wechsel erforderlich zu machen. Alternativ ist auch eine Anpassung der ETCS-Spezifikation denkbar, was allerdings zeitnah nicht zu erwarten ist.

5.4 Track Conditions

Mit Paket 68 „Track Conditions" werden dem EVC Besonderheiten zur Strecke übertragen. Diese Informationen können beispielsweise Notbremsüberbrückungsabschnitte, die Position von Tunnelnothaltestellen, Oberleitungsschutzstrecken oder Bereiche mit eingeschränkter Funkversorgung sein. Es stellt sich die Frage, ob der Tf während eines Stör- oder Evakuierungsszenarios überhaupt die erforderlichen Handselect the speed and braking points based on track knowledge and experience. Therefore, a reversing speed should be chosen that is lower than the maximum track speed across the entire reversing application area.

5.3 The RBC Transition Order

The ETCS specifications exclude the "RBC Transition Order" information when reversing, thus generally preventing travel across an RBC boundary. In very specific cases, such as when reversing begins within the area of an RBC transition, there are a few borderline cases where crossing the RBC boundary might be possible. However, these will not be discussed any further here, as they are exceptions that cannot be considered in a coherent evacuation concept. The fact that an RBC change is not possible when reversing effectively precludes the use of reversing in RBC boundary areas. This should be avoided by selecting the RBC boundary appropriately, for example outside and at a suitable distance from tunnels. Another option is to overlap RBC responsibility into the area of the adjacent RBC and to transmit the route information to both RBCs. This would allow travel in RV mode across an RBC boundary without requiring an RBC change. Alternatively, an adjustment to the ETCS specification is also conceivable, although this is not expected in the near future.

5.4 Track Conditions

The "Track Conditions", i.e. specific information about the route, are transmitted to the EVC with Packet 68. This information can include, for example, emergency brake override sections, the position of tunnel emergency stops, overhead line protection sections or areas with limited radio coverage. The question arises whether the train driver can initiate the necessary actions at the right time during a malfunction or evacuation scenario. Two examples are presented below.
Areas with limited radio coverage are announced to the EVC via Packet 68. Subsequently, the EVC suspends the monitoring of the continuous connection to the RBC ("Supervision of safe radio connection"). If this were not the case, the EVC would re-

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

lungen zum richtigen Zeitpunkt einleiten kann. Exemplarisch werden nachfolgend zwei Beispiele vorgestellt.
Bereiche mit eingeschränkter Funkversorgung werden dem EVC mittels Paket 68 angekündigt. Daraufhin wird die Überwachung der kontinuierlichen Verbindung zum RBC („Supervision of Safe Radio Connection") durch das EVC ausgesetzt. Wäre das nicht der Fall, würde nach einer in den Nationalen Werten definierten Zeit eine in den Nationalen Werten definierten Reaktion durch das EVC erfolgen. Im Netz der DB InfraGO beträgt diese Zeit 40 Sekunden, die Reaktion ist eine Zwangsbetriebsbremsung [4]. Seitens des Tf besteht keine Möglichkeit, die „Supervision of Safe Radio Connection" händisch auszusetzen. Somit kann bei einer Fahrt in RV keine Ersatzhandlung durch den Tf erfolgen, was nach 40 Sekunden zu einer Zwangsbetriebsbremsung führt. Dies steht im Wiederspruch zu einer schnellen Evakuierung und ist zu vermeiden.
Das Durchfahren von Oberleitungsschutzstrecken ist in RV grundsätzlich möglich, setzt einerseits Handlungen durch den Tf voraus (fahrzeugseitiges Ausschalten des Hauptschalters ist in RV nicht möglich), andererseits ist auch hier die richtige Positionseinschätzung unabdingbar. Demgegenüber kann argumentiert werden, welche Risiken überhaupt bestehen, sollte der Tf vergessen, den Hauptschalter rechtzeitig auszuschalten. Mit dem Feststellen der fehlenden Fahrdrahtspannung wird fahrzeugseitig der Hauptschalter automatisch ausgeschaltet und der Stromabnehmer gesenkt. Es ist jedoch mit einem Lichtbogen und entsprechendem Materialabbrand zu rechnen. Die daraus resultierenden Schäden sind im Brandfall in einem Eisenbahntunnel vermutlich als unbedeutend zu betrachten, für andere Störsituationen (z. B. ein liegengebliebener Zug) nicht. Auch Oberleitungsschutzstrecken sind daher entsprechend zu positionieren.

6 Fazit

RV stellt eine Möglichkeit dar, Züge ohne Umstieg des Tf rückwärtsfahren zu lassen. Dabei erfolgen eine technische Sicherung und Überwachung der Fahrt in einem geringeren, aber ausreichenden Umfang, als dies im Regelbetrieb der Fall ist. Somit kann RV als sichere und nutzbare Variante für Rückwärtsfahrten betrachtet werden. Die Anwendung für den Brandfall im Tunnel ist die ursprüngliche Motivation bei der Einführung von RV. Gleichzeitig offenbart sich aber auch das Potenzial für die Nutzung von RV im Störungsfall, auch außerhalb von Eisenbahntunneln.
Zugleich werden durch die Komplexität der Eisenbahninfrastruktur und der vorhandenen betrieblichen Regeln die Grenzen von RV deutlich. Die Gründe dafür liegen in den aktuellen ETCS-Spezifikationen. Es sollte geprüft werden, ob eine Weiterentwicklung der Betriebsart RV möglich ist, um bestimmte Funktionen, wie z. B. die Handhabung von RBC-Wechsel, zu ermöglichen. ■

act in the way defined in the national values after a time likewise specified in the national values. In the DB InfraGO network, this time is 40 seconds, and the reaction is an emergency braking action [4]. The train driver has no option of manually suspending the supervision of safe radio connection function. Therefore, the driver cannot take any alternative action when the train is in reverse, which leads to an emergency braking manoeuvre after 40 seconds. This contradicts the need for a rapid evacuation and must be avoided.
Passing through overhead line protection sections is generally possible in reverse, but requires action by the train driver (switching off the main circuit breaker on the train is not possible in reverse). Furthermore, accurate position assessment is essential. However, one could argue the extent of the risks that exist if the train driver forgets to switch off the main circuit breaker in time. Upon detecting the absence of an overhead line voltage, the train automatically switches off the main circuit breaker and lowers the pantograph. However, an arc flash and corresponding material charring must be expected. The resulting damage would likely be considered insignificant in the event of a fire in a railway tunnel, but not in other situations (e.g. a stranded train). Therefore, overhead line protection sections must also be positioned accordingly.

6 Conclusion

Reversing offers a way of operating trains in reverse without the driver having to change positions. The technical safety and monitoring of the journey are implemented to a lesser, but still sufficient, extent than in normal operations. Therefore, reversing can be considered to be a safe and viable option for reverse travel. The initial motivation for introducing reverse operations was its use in the event of a fire in a tunnel. However, its potential for use in the event of a disruption, even outside railway tunnels, is also evident.
At the same time, the complexity of railway infrastructure and existing operating rules clearly define the limitations of reverse operations. These limitations are due to the current ETCS specifications. An examination should be undertaken as to whether further development of the reverse operation mode is possible, perhaps by adding certain functions such as handling RBC changes. ■

LITERATUR | LITERATURE
[1] DB InfraGO AG, Geschäftsbereich Fahrweg, Grundlagen und Verfahren Bahnbetrieb: Richtlinien 408 „Fahrdienstvorschrift", Neuherausgabe, gültig ab 14.12.2025
[2] European Railway Agency: SUBSET-026 – System Requirements Specification, Version 4.0.0, 05.07.2023
[3] Rothbarth, T.: Anwendung des ETCS-Mode Reversing in Eisenbahntunnel, Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, 2025
[4] Trinckauf, J.; Maschek, U.; Kahl, R. (Hrsg.): ETCS in Deutschland. 2. Auflage, Hamburg, Leverkusen: GRT Global Rail Academy and Media GmbH, 2024

AUTOREN | AUTHORS

Dipl.-Ing. Tim Rothbarth
Leiter Betriebsbezirk in der Betriebszentrale Leipzig /
Head of the Operational District at the operations centre Leipzig
DB InfraGO AG
Anschrift / *Address*: Brandenburger Straße 1, D-04103 Leipzig
E-Mail: tim.rothbarth@deutschebahn.com

Dr.-Ing. Richard Kahl
Leitender Ingenieur / *Chief Engineer*
CERSS Kompetenzzentrum Bahnsicherungstechnik GmbH
Anschrift / *Address*: Bernhardstraße 77, D-01187 Dresden
E-Mail: richard.kahl@cerss.com

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Remote Train Operation – Demonstration auf der S-Bahn Baureihe 423 in München

Remote Train Operation: a demonstration on the Class 423 S-Bahn in Munich

Thorsten Bomke | Torsten Saliwada | Thomas Weiße

Dieser Beitrag stellt eine Demonstration des Fernbetriebs (Remote Train Operation – RTO) vor, die im Januar 2026 auf einem S-Bahn-Triebfahrzeug der Baureihe 423 (Electric Multiple Unit – EMU) in München durchgeführt wurde. Rangierfahrten wurden aus einer Fernbetriebszentrale (Remote Operation Center – ROC) in einer aktiven Abstellanlage in München Steinhausen gesteuert. Die RTO-Demonstration zeigte die technische Machbarkeit sowie die betriebliche Relevanz von RTO für Prozesse im Depot unter realen Einsatzbedingungen.

1 Ein pragmatischer Schritt in Richtung Depotautomatisierung

In ganz Europa beschleunigen Eisenbahnunternehmen die Digitalisierung ihrer Betriebsabläufe, um Kapazitäten zu steigern, Arbeitsbedingungen zu optimieren, Qualität zu sichern und die Systemresilienz zu erhöhen. Neben dem European Train Control System (ETCS), digitalen Stellwerken und Automatic Train Operation (ATO) etabliert sich RTO als ergänzendes Element, insbesondere für Rangierfahrten, Depotprozesse und den Betrieb in Störungsfällen. Vor diesem Hintergrund stellt die Demonstration der Deutschen Bahn AG (DB) in München einen konkreten Schritt von der Konzeptvalidierung hin zur betrieblichen Anwendung dar.

RTO adressiert die zunehmenden demografischen Herausforderungen bei der Bereitstellung von qualifiziertem Personal für Rangier- und Zugfahrten. Gleichzeitig kann RTO die Effizienz und Flexibilität neuer Depotprozesse steigern, unproduktive Standzeiten reduzieren und eine robustere Betriebswiederherstellung unterstützen. In diesem Sinne ist die Münchner RTO-Demonstration keine abstrakte Technologie-Präsentation, sondern ein greifbarer Meilenstein in der Entwicklung digital unterstützter Bahnbetriebsprozesse in Europa.

Die RTO-Demonstration in München ist im Kontext einer breiteren europäischen Landschaft von Pilotprojekten zu sehen, die ferngestützte oder automatisierte Rangier- oder Zugfahrten untersuchen. Was München jedoch unterscheidet, ist die technische Reife, die betriebliche Vorgänge umzusetzen und der hohe Integrationsgrad der Systeme. Es handelt sich um die erste ferngesteuerte Rangierfahrt eines DB S-Bahn-Triebfahrzeuges der Baureihe 423 in einer aktiven Abstellanlage, gesteuert aus einer vollständig ausgestatteten Fernbetriebszentrale, die an die betriebliche Infrastruktur angebunden ist.

Die RTO-Demonstration war nicht nur ein Machbarkeitsnachweis für RTO, sondern eine Systemdemonstration auf Gesamtfahrzeugebene, die Bordsysteme, Infrastruktur, Kommunikation und Mensch-Maschine-Schnittstellen in einem operativen S-Bahn-Kontext integrierte. Der Einsatz einer dauerhaft ausgestatteten Fernbetriebszentrale, die nach betrieblichen und ergonomischen Prinzipien ausgelegt ist, macht die Ergebnisse direkt relevant für Industrialisierung und Regulierung.

This article presents a demonstration of Remote Train Operation (RTO) carried out in January 2026 on a Class 423 EMU (Electric Multiple Unit) used on the S-Bahn in Munich. The remote shunting was performed from a Remote Operation Centre (ROC) in a live depot environment, thereby illustrating the feasibility and operational relevance of RTO for depot operations under real operating conditions.

1 A pragmatic step towards depot automation

Across Europe, railways are accelerating the digitalisation of their operations in order to increase their capacity, optimise working conditions, ensure quality and improve resilience. RTO is emerging as a complementary element alongside the European Train Control System (ETCS), digital interlockings and Automatic Train Operation (ATO), particularly for non-revenue movements, depot operations and degraded mode scenarios. Within this context, Deutsche Bahn AG's (DB) demonstration in Munich represents a concrete step from concept validation towards operational application.

RTO addresses the increasing demographic challenges involving the provision of staff for shunting and depot movements that require qualified personnel. At the same time, it can also improve efficiency and flexibility in new depot processes, reduce non productive dwell times and support more robust service recovery. In this sense, the Munich RTO demonstration is not an isolated technology showcase, but a tangible milestone in the evolution of digitally supported rail operations in Europe.

The Munich RTO demonstration should be seen within the broader European landscape of pilot projects exploring remote or automated driving. What distinguishes Munich, however, is its operational depth and level of system integration. It marks the first remote driving of a DB S-Bahn Class 423 EMU in a live depot environment operated from a fully equipped ROC connected to the operational infrastructure.

The demonstration was not merely proof of RTO, but also a system level demonstration integrating onboard technology, infrastructure, communications and human-machine interfaces within an operative S-Bahn context. The use of a permanently equipped ROC designed according to operating and ergonomic principles makes the results directly relevant for industrialisation and regulation.

1.1 The project framework

The Munich RTO demonstration has built on the structured technical preparation and close cooperation between DB Re-

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Bild 1: Baureihe 423 auf dem Werksgleis in München Steinhausen
Fig. 1: Class 423 at the Steinhausen stabling yard Quelle / *Source*: DB AG / T. Kiewning

1.1 Projektumfeld

Die Münchner RTO-Demonstration baut auf einer strukturierten technischen Vorbereitung und einer engen Zusammenarbeit zwischen DB Regio, der S-Bahn München und Alstom auf. Von Beginn an war das Projekt nicht als isolierter Versuch angelegt, sondern als stufenweises Entwicklungsprogramm zur Validierung von RTO auf einem Serienfahrzeugtyp unter realistischen Betriebsbedingungen.

1.2 Technische Vorbereitung und frühe Projektphasen

Das Triebfahrzeug der Baureihe 423 wurde aufgrund seiner weiten Verbreitung im Münchner S-Bahn-Netz und in weiteren Netzen von DB Regio sowie seiner gut bekannten Fahrzeugarchitektur als Projektplattform ausgewählt (Bild 1). In den frühen Projektphasen lag der Fokus auf der Fahrzeuginstrumentierung und Systemintegration, einschließlich der Installation zusätzlicher Bordsensoren, Kommunikationsschnittstellen und fernbedienbarer Aktoren. Besonderes Augenmerk galt der Koexistenz der RTO-Funktionen mit den bestehenden Sicherheitssystemen und der Betriebslogik des Fahrzeugs.
Erste Tests wurden in geschützten Umgebungen durchgeführt und konzentrierten sich auf grundlegende RTO-Basisfunktionen, Latenzverhalten, Qualität der Video- und Datenübertragung sowie Fail-Safe-Reaktionen. Diese Aktivitäten schufen eine robuste technische Basis für den späteren Übergang in den betrieblichen Ablauf unter realen Bedingungen. Die schrittweise Entwicklung von der Laborvalidierung zum Einsatz im Rangierbetrieb spiegelt einen bewussten Ansatz zur Risikominimierung wider, der mit eisenbahntypischen Sicherheits- und Zulassungsprozessen im Einklang steht.

1.3 Betriebliche Rolle von DB Regio und S-Bahn München

DB Regio war gemeinsam mit der S-Bahn München ein wesentlicher operativer Partner und stellte sicher, dass die technische Lösung regio, S-Bahn Munich and Alstom. From the outset, the project was conceived not as a standalone experiment, but as a stepwise development program aimed at validating remote operations with a production EMU vehicle under realistic operating conditions.

1.2 Technical preparation and early project phases

The Class 423 EMU was selected as the project platform due to its widespread use in the Munich S-Bahn and other DB Regio networks and its well understood vehicle architecture (fig. 1). The early project phases concentrated on vehicle instrumentation and system integration, including the installation of additional onboard sensors, communication interfaces, and remote control actuators. Particular attention was paid to ensuring that remote driving functions could coexist with existing safety systems and operating logic.
Initial tests were carried out in protected environments, focusing on basic remote-control functionality, latency behaviour, video and data transmission quality as well as the failsafe responses. These activities established a robust technical baseline for the future transitioning to live depot operations. The stepwise progression from laboratory validation to on-track testing reflects a deliberate risk mitigation approach aligned with railway safety and the approval processes.

1.3 The operating roles of DB Regio and S-Bahn Munich

DB Regio was an essential operating partner alongside S-Bahn Munich and as such ensured that the technical solution reflected real world operating requirements. This contribution went beyond providing the vehicles and infrastructure, as it also saw operating staff sharing their experience and insights on depot

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

ale betriebliche Anforderungen erfüllt. Dieser Beitrag ging über die Bereitstellung von Fahrzeugen und Infrastruktur hinaus: Betriebspersonal brachte Erfahrungen und Erkenntnisse zu Betriebsabläufen, Rangierfahrten, Mensch-Maschine-Interaktion und dem Umgang mit Störungsszenarien ein.
Diese betriebliche Perspektive war entscheidend für die Identifikation von Anwendungsfällen mit unmittelbarem Nutzen, etwa kurze Rangier- oder Bereitstellungsfahrten sowie Abstellungen außerhalb der Spitzenzeiten. Durch die Einbettung der RTO-Demonstration in die betrieblichen Abläufe eines S-Bahn-Depots konnte erstmals die Integration von RTO in bestehende Prozesse, Rollenbilder und Sicherheitsanforderungen bewertet werden.

1.4 Einordnung in die Strategien von DB AG und Alstom

Aus Sicht der DB fügt sich das Münchner Projekt nahtlos in die übergeordnete Automatisierungs- und Digitalisierungsstrategie ein, die auf eine Erhöhung der Systemrobustheit und Produktivität sowie auf die Bewältigung langfristiger demografischer Herausforderungen abzielt. RTO ist dabei als Ergänzung zu ATO und digitalen Stellwerken positioniert, insbesondere für betriebliche Domänen, die sich für eine vollautomatische Umsetzung nur eingeschränkt eignen, aber gut durch RTO unterstützt werden können.
Für Alstom stellt das Projekt eine konkrete Anwendung des Portfolios für RTO und digitale Leit und Steuerungssysteme dar. Die RTO-Demonstration in München ermöglichte die Validierung einer skalierbaren RTO-Systemarchitektur unter realen Betriebsbedingungen, die sichere Kommunikation, zentrale Steuerung und ein ergonomisches Design der Fernbetriebszentrale kombiniert.

workflows, shunting procedures, human-machine interaction and degraded mode handling.
This operating perspective was crucial in identifying the use cases where RTO delivers immediate value, such as vehicle positioning, short depot movements and preparation runs outside peak hours. By embedding the demonstration within an active S-Bahn depot, the project team was able to start assessing how remote operation interacts with the existing processes, staff roles and safety obligations, an aspect that is often absent from purely technical pilots.

1.4 Positioning within the DB AG and Alstom strategies

From DB perspective, the Munich project fits squarely within its broader automation and digitalisation strategy aimed at increasing system robustness and productivity while also addressing the long-term demographic challenges. RTO is positioned as a complement to ATO and digital interlockings, particularly for operating domains that are difficult to automate fully but are well suited to remote support.
For Alstom, the project represents a concrete application of its remote operation and digital control portfolio. The Munich demonstration has enabled the validation of the scalable RTO architecture under real operating conditions combining secure communications, centralised control and ergonomic ROC design. The solution has been developed with scalability in mind, thereby allowing adaptation to other vehicle platforms and operating contexts.
In this way, the collaboration between DB Regio and Alstom demonstrates how operator-driven requirements and supplier-

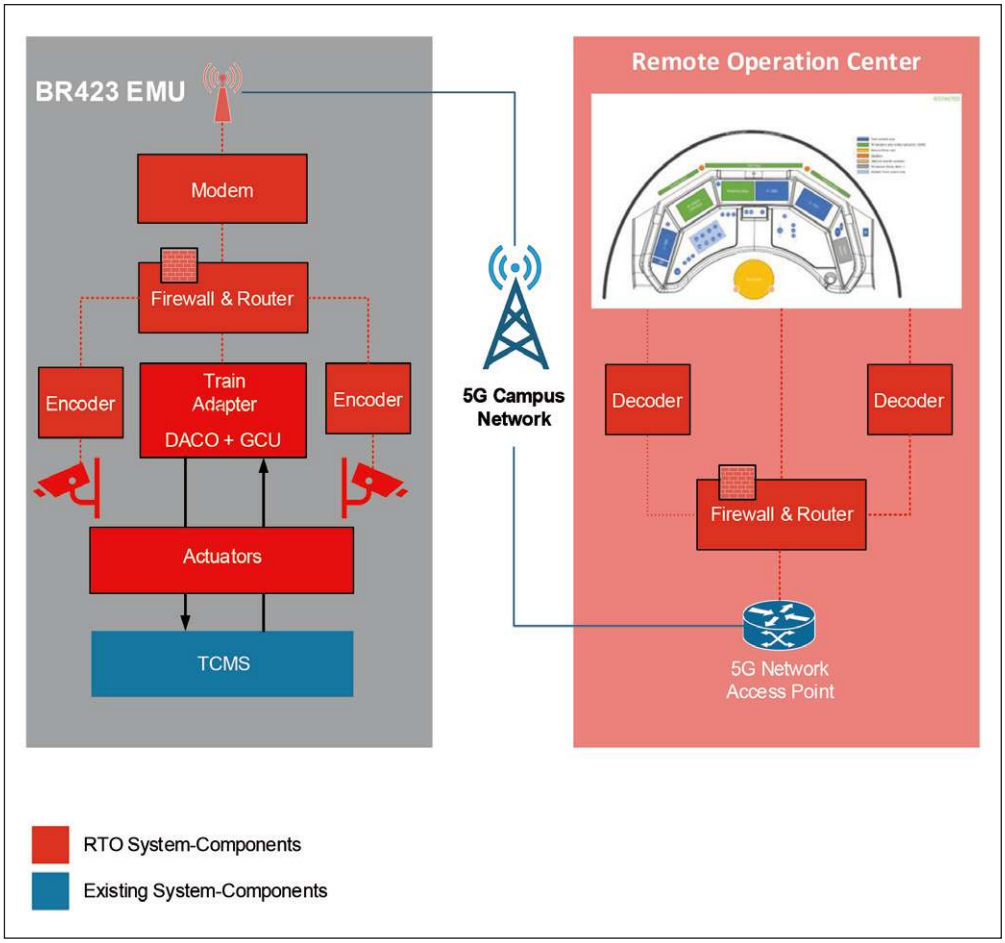


Bild 2: Technische RTO-Systemarchitektur
Fig. 2: The RTO technical architecture
Quelle / *Source*: Alstom

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Die Lösung ist auf Skalierbarkeit ausgelegt und erlaubt eine Anpassung an weitere Fahrzeugplattformen und Einsatzszenarien. Auf diese Weise zeigt die Zusammenarbeit zwischen DB Regio und Alstom, wie betreibergetriebene Anforderungen und herstellerseitige Systemintegration RTO von der Prototypenphase hin zu einsetzbaren Eisenbahnlösungen führen können. Die Münchner RTO-Demonstration dient damit nicht nur als technischer Meilenstein, sondern auch als Referenzmodell für zukünftige Partnerschaften im Bereich automatisierter und fernunterstützter Bahnbetriebsabläufe.

2 Technische Systemarchitektur des RTO-Demosystems

Die für die RTO-Demonstration entwickelte Systemarchitektur (Bild 2) verbindet die fahrzeugseitige Erweiterung mit der Fernbetriebszentrale über eine hochverfügbare Funk-Schnittstelle und ermöglicht somit sichere und zuverlässige ferngesteuerte Rangierfahrten in einer Abstellanlage. Die Systemarchitektur erweitert bestehende Fahrzeugfunktionen, ohne die sicherheitstechnischen Systeme des Fahrzeugs während des Fernsteuerbetriebs zu verändern, und bleibt somit konform zu dem betrieblichen Regelwerk.
Für die Prototypentests war die Höchstgeschwindigkeit im DATA Coupler (DACO) auf 15 km/h und die maximale Beschleunigung auf 20 % begrenzt. Diese Einschränkungen waren Bestandteil der Sicherheitsbedingungen für Rangierfahrten im RTO-Modus. Diese Maßnahmen sollen später in einer technischen Produktrealisierung entfallen. Die Geschwindigkeitsüberwachung erfolgt dann durch einen Ferntriebfahrzeugführer oder ein Automatic Train Protection (ATP) System.

2.1 Fahrzeugausrüstung

2.1.1 Train Control and Management System (TCMS) Gateway / Train-Adapter

Kern der Fahrzeugausrüstung ist ein Train-Adapter, bestehend aus einer Generic Control Unit (GCU) und dem DACO zur Anbindung an das bestehende TCMS. Der Train-Adapter übersetzt Eingaben des Ferntriebfahrzeugführers in definierte Steuerbefehle. Der DACO überträgt diese Steuerbefehle für Traktion, Bremse, Türen, Beleuchtung und Makrofon elektrisch und logisch getrennt vom konventionellen Führerstand, sodass das homologierte Fahrzeugverhalten bei inaktivem RTO-Modus unverändert bleibt.

2.1.2 Hauptintegrationsprinzipien:

- **Erweiterung statt Ersatz:** RTO stellt einen zusätzlichen Befehlsweg dar, der konventionelle Führerstand bleibt unverändert.
- **RTO-Modus Management:** Ein definierter Prozess zur Aktivierung und Deaktivierung des RTO-Modus mit physischer Trennung verhindert unbeabsichtigte Zustandswechsel. Fahrzeugseitige Bedienhandlungen haben stets Vorrang.
- **Befehlsvalidierung:** Der DACO überprüft Geschwindigkeit und Zugkraft.

2.1.3 Sicherheitsmechanismen: Kameras, Datenströme, RTO-Isolation, Geschwindigkeitsbegrenzung

- **Datenzustand und Plausibilitätsprüfung:** Die kontinuierliche Überwachung von Latenz, Paketverlust und Sensorkonsistenz löst bei Überschreitung definierter Grenzwerte eine Degradierung oder Rückstufung aus, einschließlich Geschwindigkeitsreduzierung bis hin zum automatischen Halt.
- **Fail-Safe-Isolation:** Eine Störung der Kommunikation oder der Energieversorgung im Train-Adapter führt zur Spannungsfreischaltung der RTO-Systemfunktionen. Die Steuerung der fahrled integration can move remote operation from prototyping towards deployable railway solutions. The Munich RTO demonstration therefore serves not only as a technical milestone, but also as a reference model for future partnerships in automated and remotely supported rail operations.

2 The RTO demonstration system's technical architecture

The technical architecture set up for the demonstration is described in fig. 2. It combines onboard integration, an ROC and a high-availability radio interface to deliver safe, controllable and auditable remote movements at a live depot. The architecture has been designed to overlay existing train functions without altering the vehicle's core safety case in remote service and while remaining bound by depot operating rules.
The speed limit for the prototype testing was set at 15 km/h in the DATA Coupler (DACO) and the maximum acceleration was set at 20 %. These limitations were implemented as part of the safety conditions for the train movements in RTO mode. However, this restriction is expected to be removed in the final product. Any speed limitations will be monitored by the remote driver or an Automatic Train Protection (ATP) system.

2.1 The onboard technology

2.1.1 The Train Control and Management System (TCMS) Gateway / Train Adapter system for remote command transfer

A Train Adapter consisting of a Generic Control Unit (GCU) and a DACO interfacing the train's existing TCMS lies at the heart of the onboard system. In general, the Train Adapter translates the remote driver's inputs into train commands. The DACO sends control signals for traction, braking, door opening / closing, lighting and the train horn to the TCMS via its actuators in a way that is both electrically and logically isolated from the conventional driver desk, thereby preserving the vehicle's homologated behaviour when remote mode is not active.

2.1.2 Key integration principles:

- **Overlay instead of replacement:** RTO is an additional command path. The conventional driver desk remains unchanged.
- **Mode management:** a deliberate RTO engage / disengage process with physical isolation (e.g. a key switch or sealed selector) prevents any inadvertent transitions. Local control always has priority.
- **Command validation:** The DACO verifies the speed and traction effort.

2.1.3 Safety mechanisms: cameras, data feeds, isolation procedures and speed limitations

- **Data health and plausibility:** continuous latency, packet loss and sensor consistency monitoring triggers degradation, including speed reduction and an automatic stop, if the limits are exceeded.
- **Fail-safe isolation:** a loss of communication or power to the DACO de-energises the overlay, reverting control to the native train systems with traction inhibited and the brakes applied if required.
- **Ceiling speed supervision:** a 15 km/h limit, supervised by the DACO, limits the kinetic risk for depot movements.
- **Local emergency solutions:** the onboard emergency brake, local shunter controls and driver cab remain available; any local action overrides the remote control.

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

zeugeigenen Systeme ist wieder aktiv, wobei die Traktion gesperrt und – falls erforderlich – die Bremsen angelegt bleiben.
- **Überwachung der maximalen Geschwindigkeit:** Eine durch den DACO überwachte Geschwindigkeitsobergrenze von 15 km/h limitiert das kinetische Risiko bei Rangierfahrten.
- **Lokale Notfalllösung:** Die fahrzeugseitige Schnellbremsfunktion sowie Bedienelemente auf dem Führerstand bleiben jederzeit verfügbar. Jede fahrzeugseitige Bedienhandlung überschreibt die Fernsteuerung.
- **Sicherheitsbegleiter:** Während der ferngesteuerten Rangierfahrten befand sich ein Sicherheitsbegleiter im Führerstand.

2.2 Fernbetriebszentrale

2.2.1 Aufbau und Funktionen des Fernsteuerarbeitsplatzes [1]

Die Fernbetriebszentrale ist als human faktoriell optimierter Leitstand ausgelegt, der eine sichere, effiziente und ergonomische Fernsteuerung unterstützt.

Der Fernsteuerarbeitsplatz (Bild 3) stellt folgende Funktionen bereit:
- **Primärbedienelemente:** Fahr- und Bremshebel, optimiert für präzise Geschwindigkeitssteuerung, Fahrtrichtungswahlschalter, Drucktaster zum Auslösen von Horn und Makrofon, Drucktaster für die seitenselektive Türsteuerung, Lichtsteuerung sowie zum Auslösen der Schnellbremsfunktion.
- **Situative Anzeigen:** Video-Live-Streams mit geringer Latenz, dynamische Geschwindigkeits- und Weganzeige sowie Statusanzeigen des Triebfahrzeugs.
- **Prozedurale Unterstützung:** Integrierte Checklisten für den Eintritt und Austritt aus dem RTO-Modus, Türbedienung und den Betrieb in Störungsszenarien, ergänzt durch kontextabhängige Hilfestellungen, die mit Alarmen und Verriegelungen verknüpft sind.
- **A safety attendant:** a safety attendant was in the cabin during all the demonstration runs.

2.2 The Remote Operation Centre (ROC)

2.2.1 The Remote Driver Desk layout and capabilities [1]

The ROC is designed as a control room optimised for human factors, combining standard railway ergonomics with a digital Human-Machine-Interface (HMI).

The Remote Driver Desk (fig. 3) provides:
- **primary controls:** a traction / brake controller optimised for low-speed precision, direction selection, horn activation, door open / close control with side selection, lighting controls and full break effort.
- **situational displays:** tiled low-latency video feeds, a dynamic speed and odometry display, train health indicators.
- **procedural support:** embedded checklists for RTO mode entry and exit, door handling, and degraded operations with context-sensitive help linked to alarms and interlockings.

2.2.2 Operator interfaces: a full desktop station plus tablet control for outdoor segments

- **The desktop station:** the primary control point within the ROC, providing the lowest-latency video streams of the front and proximity views for full situational awareness and a complete command set.
- **The tablet / portable HMI:** a robust tablet mirroring the essential controls and video streams for outdoor line-of-sight tasks such as coupling or final positioning. The same technical limitations apply and the train is automatically braked to a standstill in the case of a loss of connection with the engine or a power outage.

Bild 3: Alstom Fernsteuerarbeitsplatz
Fig. 3: The Alstom RTO desk

Quelle / *Source*: DB AG / T. Kiewning

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

2.2.2 Steuerungseinheiten: Fernsteuerarbeitsplatz und Tablet-Lösung

- **Fernsteuerarbeitsplatz:** Primäre Steuerungseinheit in der Fernbetriebszentrale mit Video-Streams aus der Normal- und Nahbereichsperspektive zur vollständigen Replikation der Zugumgebungsinformation sowie Bedienelemente für die Fahrzeugsteuerung.
- **Tablet-Lösung:** Robustes Tablet mit Bedienelementen für wesentliche Zugsteuerungsfunktionen und Video-Streams aus der Normalbereichsperspektive für Aufgaben wie dem Kuppeln oder Zugabstellung. Es gelten die gleichen technischen Begrenzungen für Geschwindigkeit, und es erfolgt ein automatisches Abbremsen bis zum Stillstand bei Verbindungsabbrüchen zum Triebfahrzeug oder Spannungsausfall.
- **Steuerungskontrolle:** Ein Token-basierter Steuerungsmechanismus stellt sicher, dass jeweils nur eine Steuerungseinheit, Fernsteuerarbeitsplatz oder Tablet, Steuerungsbefehle ausgeben kann. Der Übergang erfolgt über explizite Anweisungsschritte mit visueller Bestätigung.

2.3 Kommunikation und Integration in die Depotinfrastruktur

Für die Übertragung von Video- und Telemetriedaten wurden WLAN- und Campus 5G-Netze eingesetzt.
Das Kommunikationskonzept basiert auf einer Multi-Carrier-Architektur mit differenzierten Dienstgüteklassen:

- **WLAN (Wireless Local Area Network):** Lokales Netzwerk rund um das Fahrzeug für Tests und Integrationszwecke.
- **Campus 5G:** Dediziertes Netz auf Basis von 5G-Standardkomponenten zur Abdeckung definierter Bereiche der Abstellanlage.
- **Link-Überwachung:** Die GCU überwacht die Funkverbindung; bei einer Unterbrechung von mehr als 500 ms werden die Bremsen angelegt.
- **Security-Funktionen:** Außer einer VPN-basierten Verbindung wurden keine weiteren Sicherheitsfunktionen implementiert.

2.4 Übersicht der im Rahmen der RTO-Demonstration ausgeführten Fernsteuerungsfunktionen

- **Anfahren, Langsamfahrt, Abbremsen:** Anfahren und präzise ferngesteuerte Geschwindigkeitsregelungen sowie Abbremsungen unter verschiedenen Lastzuständen.
- **Türfunktionen:** Seitenselektives Öffnen und Schließen der Türen mit Zustandsrückmeldung.
- **Innen- und Außenbeleuchtung:** Fernaktivierung des Spitzenlichtes zur Unterstützung von Rangierfahrten bei Dunkelheit oder Werksgleis-Inspektionen und bei Bedarf die Beleuchtung des Fahrgastraums.
- **Makrofon:** Nutzung der Makrofonfunktion zur Koordination mit lokalem Personal und für sicherheitsrelevante Durchsagen während des Rangierbetriebs.

3 Demonstrationstag: 29. Januar 2026

Am 29. Januar 2026 erreichte die technische Entwicklung einen sichtbaren Meilenstein, als das RTO-System erstmals öffentlich in einem in Betrieb befindlichen S-Bahn Depot in Deutschland demonstriert wurde (Bild 4).
Die Veranstaltung führte politische, strategische und operative Sichtweisen zusammen und unterstrich die bereichsübergreifende Relevanz von RTO für die Weiterentwicklung zukünftiger Bahnsysteme.
Der Demonstrationstag umfasste mehrere Vorführungen von ferngesteuerten Rangierfahrten für unterschiedliche Interessengruppen. Jede Vorführung kombinierte eine kurze Systemeinführung in die Fernbetriebszentrale mit anschließenden Livevorführungen

- **Authority handover:** a token-based mechanism ensures that only one HMI, desktop or tablet, can issue movement commands at any one time with explicit handover steps and visual confirmation.

2.3 Communication and integration in the depot infrastructure

WLAN and campus 5G networks were used to transmit video and telemetry data.
The communication concept uses a multi carrier architecture supporting differentiated service levels:

- **WLAN (Wireless Local Area Network):** a network established around the vehicle for testing and integration purposes.
- **Campus 5G:** a dedicated network based on 5G standard components designed to cover specific areas of the shunting yard.
- **Link supervision:** the GCU monitors the radio link; if there is an interruption lasting longer than 500 ms, the brakes are applied.
- **Security features:** no security features have been implemented.

2.4 An overview of the functions demonstrated remotely (all executed via the ROC desk or tablet)

- **Start, constant speed movement, braking:** remote traction application with creep / constant speed mode to maintain precise low speed control and service braking verified under various load states.
- **Door operations:** side selective opening / closing of the doors with status feedback.
- **Interior and exterior lighting:** remote activation for shunting visibility, depot inspection and passenger saloon illumination when required by procedures.
- **The train horn:** horn functions for local staff coordination and safety announcements during movement.

3 The demonstration day: 29 January 2026

The technical development reached a visible milestone on 29 January 2026, when the RTO system was publicly demonstrated in a live S-Bahn depot environment in Germany for the first time (fig. 4). The event brought together political, strategic and operating perspectives, thereby highlighting the cross functional relevance of remote operation for future rail systems.
The demonstration day was organised over several sessions addressing different stakeholder groups, followed by technical and operating demonstrations. Each session combined a brief system introduction in the ROC with live remote train movements and an open discussion with engineers, operators and safety representatives.
At the centre of the event was the remote shunting of a Class 423 EMU in an active S-Bahn depot under real operating conditions. For the first time in Germany, a production EMU was moved remotely in a depot in daily use, with normal traffic and staff presence and the operating rules in place.
The demonstration followed an end-to-end operating sequence based on an activated driver cabin:

1. the engagement of the RTO mode on the vehicle and the transfer of control authority to the ROC.
2. remote driving from the ROC driver desk, including acceleration, low speed movement, constant speed control and braking, all within the defined 15 km/h speed envelope.
3. remote operation of the support functions such as the doors, lighting and train horn for staff coordination.

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Bild 4: RTO-Livevorführung in Steinhausen
Fig. 4: The RTO live demonstration at Steinhausen

Quelle / *Source*: DB AG / T. Kiewning

von ferngesteuerten Rangierfahrten des Zuges sowie einem offenen Austausch von Erfahrungen und Meinungen mit Ingenieuren, Betriebsverantwortlichen und Sicherheitsvertretern.

Im Mittelpunkt der Veranstaltung stand der ferngesteuerte Rangierbetrieb eines S-Bahn-Zuges der Baureihe 423 auf einem Werksgleis in München Steinhausen unter realen Betriebsbedingungen. Erstmals in Deutschland wurde ein Serien-EMU in einem Depot mit regulärem Verkehr, Personalpräsenz und gültigen Betriebsregeln ferngesteuert.

Ausgehend von einem aktivierten Führerstand des EMU folgte die RTO-Demonstration einer durchgängigen betrieblichen Sequenz:

1. Aktivierung des RTO-Modus am Triebfahrzeug und Übergabe der Steuerhoheit an die Fernbetriebszentrale.
2. Ferngesteuerter Rangierbetrieb vom Fernsteuerarbeitsplatz aus, einschließlich Anfahrt, Rangierfahrten mit konstanter Geschwindigkeit innerhalb des definierten Geschwindigkeitslimits von 15 km/h und anschließendem Abbremsen.
3. Nutzung unterstützender Funktionen wie Türen, Beleuchtung und Makrofon zur Koordination des Personals.
4. Übergang in einen Außenbereich, in dem die Bedienung zusätzlich über eine Tablet-Schnittstelle mit Sicht auf das Triebfahrzeug demonstriert wurde.

Während des gesamten ferngesteuerten Rangierbetriebes wurden Live-Video-Streams, Telemetriedaten und Systemzustände in der Fernbetriebszentrale angezeigt und machten die technischen Prozesse für Beobachter in Echtzeit nachvollziehbar.

4 Ausblick: Nächste Schritte in Richtung skalierbarer Depotautomatisierung

4.1 Erweiterung des Prozessumfangs im Depot

Während der Schwerpunkt der Münchner RTO-Demonstration auf ferngesteuerten Rangierfahrten und Basiskontrollfunktionen lag, ist die zugrunde liegende Systemarchitektur auf weitere Depotprozes-

4. transition into an outdoor test segment, where control was additionally demonstrated via a tablet interface under line-of-sight conditions.

Throughout the entire sequence, live video streams, telemetry and the system status were displayed in the ROC, allowing the observers to follow the technical processes in real time.

4 Outlook: the next steps toward scalable depot automation

4.1 Expanding the scope of the depot processes

While the Munich demonstration focused on remote shunting and basic auxiliary functions, the underlying architecture has also been designed to support additional depot processes. Future development stages aim to address direction change, remote driver's cabin switching, assisted coupling and decoupling, automated positioning for washing facilities or workshops and closer integration with digital depot planning and asset management systems.

These extensions would allow RTO to become part of a more holistic depot automation concept, in which remote driving, process automation and digital workflow management reinforce one another. The objective is not full autonomy in the short term, but a gradual increase in automation that reduces manual effort, stabilises processes and improves overall depot throughput.

4.2 Adaptability beyond the Class 423 fleet

A key outcome of the project is the demonstration of adaptability. While Class 423 served as the initial platform, the RTO solution has been designed with fleet diversity in mind. The use of TCMS gateways, modular onboard overlays and standardised communication interfaces allows adaptation to other EMU and DMU (Diesel Multiple Unit) types or locomotives with limited vehicle specific modification.

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

se ausgelegt. Künftige Entwicklungsstufen sollen Fahrtrichtungswechsel, der ferngesteuerte Führerstandswechsel, Kuppeln und Entkuppeln, ferngesteuerte Rangierfahrten in Waschanlagen oder Werkstätten sowie eine engere Integration in das digitale Flottenmanagementsystem ermöglichen.
Diese Erweiterungen zielen darauf ab, RTO als Bestandteil eines ganzheitlichen Depot-Automatisierungskonzepts zu etablieren, in dem RTO, Prozessautomatisierung und digitales Flottenmanagement einander ergänzen. Ziel ist keine kurzfristige Vollautonomie, sondern eine schrittweise Automatisierung zur Reduzierung manueller Aufwände, zur Stabilisierung sowie Effizienzsteigerung von betrieblichen Prozessen im Depot.

4.2 Übertragbarkeit über die Baureihe 423 hinaus

Ein wesentliches Ergebnis des Projekts ist der Nachweis der Anpassungsfähigkeit. Obwohl die Baureihe 423 als erste Plattform diente, wurde die RTO-Lösung von Beginn an flottenübergreifend konzipiert. Der Einsatz von Train-Adaptern, modularen Erweiterungen für den Fernsteuerbetrieb und standardisierten Kommunikationsschnittstellen ermöglichen die Anpassung an weitere EMU- und DMU-Typen (Diesel Multiple Unit – DMU) oder Lokomotiven mit begrenzten fahrzeugspezifischen Änderungen.
Dieser Ansatz erlaubt eine Ausweitung über die Münchner S-Bahn hinaus – sowohl innerhalb von DB Regio als auch in weiteren Geschäftsfeldern des DB Konzerns. Das im Rahmen der RTO-Demons-

This approach enables deployment beyond the Munich S-Bahn, both within DB Regio and across other DB Group businesses. The interest generated by the demonstration has highlighted the relevance of RTO for a broad range of rolling stock and operating contexts, particularly those involving frequent and resource intensive shunting activities.

4.3 The role within DB's long-term automation strategy

Overall, RTO is positioned as one element within DB's long-term automation and digitalisation roadmap. Alongside digital interlockings, ETCS, ATO and digitally connected depots, RTO contributes to a layered automation strategy that addresses different operating domains with appropriately scaled solutions.
Rather than replacing staff, RTO is intended to augment human capability, improve flexibility in personnel deployment and enhance operating resilience. The Munich demonstration has shown that this approach is technically viable, operationally acceptable and compatible with existing safety and regulatory frameworks.
As development continues, the focus will shift from demonstrating feasibility to defining where and how remote operation delivers the greatest value. In this sense, the Munich RTO project represents not an endpoint, but a foundation for the next phase of scalable, digitally supported depot automation in Germany and beyond.

MESA ALL:NEXO
CONNECTING RAILWAYS
FRMCS
Future Railway Mobile Communication System
5G MCX
The future of train communications starts at InnoTrans 2026.
With our **innovative and tested FRMCS train radio solutions**.
READ MORE
FUNKWERK.COM/ALLNEXO
InnoTrans
22-25 SEP 2026 · BERLIN
HALL 4.1 – STAND 420
funkwerk

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

tration geweckte Interesse unterstreicht die Relevanz von RTO für eine Vielzahl von Fahrzeugtypen und betrieblichen Anwendungsfällen, insbesondere bei häufigem und intensivem Rangierbetrieb.

4.3 Rolle innerhalb der langfristigen Automatisierungsstrategie der DB

In der Gesamtbetrachtung ist RTO als ein Baustein innerhalb der langfristigen Automatisierungs und Digitalisierungsstrategie der DB positioniert. Neben digitalen Stellwerken, ETCS, ATO und digital vernetzten Depots trägt RTO zu einer gestuften Automatisierungsstrategie bei, die unterschiedliche betriebliche Domänen mit jeweils angemessen skalierten Lösungen adressiert.

Statt Personal zu ersetzen, soll RTO menschliche Fähigkeiten erweitern, die Flexibilität im Personaleinsatz erhöhen und die betriebliche Resilienz verbessern. Die Münchner RTO-Demonstration hat gezeigt, dass dieser Ansatz technisch realisierbar, betrieblich akzeptabel und mit bestehenden Sicherheits und Regulierungsrahmen vereinbar ist.

Mit dem weiteren Projektfortschritt verschiebt sich der Fokus von der reinen Machbarkeitsdemonstration hin zur Definition der Einsatzbereiche, in denen RTO den größten Nutzen entfaltet, sowie der Art und Weise, wie dieser Nutzen erzielt wird. In diesem Sinne stellt das Münchner RTO-Projekt keinen Abschluss dar, sondern bildet die Grundlage für die nächste Phase einer skalierbaren, digital unterstützten Depotautomatisierung in Deutschland und darüber hinaus.

5 Fazit: Bedeutung für die Modernisierung des Schienenverkehrs in Deutschland

RTO zielt nicht darauf ab, Triebfahrzeugführer (Tf) zu ersetzen. Im Gegenteil: RTO ermöglicht es Tf, mehr Triebfahrzeuge ferngesteuert zu bedienen, da Geh- und Wartezeiten entfallen. Dies steht im Einklang mit dem politischen Ziel, den Anteil der Schiene am Gesamtverkehr zu erhöhen. In einer langfristigen Perspektive mit autonomen Zügen wird der Tf den Betrieb mehrerer autonom fahrender Triebfahrzeuge überwachen und nur im Bedarfsfall die Steuerung einzelner Triebfahrzeuge übernehmen.

Das Projekt markiert einen wichtigen Schritt auf einem pragmatischen Weg hin zu RTO und automatisiertem Zugbetrieb. Depots eignen sich besonders als erste Einsatzbereiche für RTO, da sie ein hohes Effizienzpotenzial bieten (viele Rangierfahrten, häufige Richtungswechsel, spezielle Abläufe wie Kuppeln, Entkuppeln oder Waschen). Gleichzeitig stellen Depots ein Umfeld dar, das die Einführung von RTO begünstigt, etwa durch Zugangskontrollen, die räumliche Nähe von Personal sowie eine leistungsfähige mobile Kommunikationsinfrastruktur. Darüber hinaus erfordert die vorgestellte RTO-Lösung kaum Änderungen an der Bahninfrastruktur und ist beispielsweise nicht von einer ETCS-Ausrüstung der Gleise abhängig. Ausgehend von Depots sind Anwendungen auch in anderen Bereichen vorgesehen, da RTO einen wesentlichen Beitrag zur Automatisierung des gesamten Netzes leisten kann [2].

Die RTO-Demonstration in München hat die technische Machbarkeit von RTO unter realen Bedingungen gezeigt. Eine Nachrüstung bestehender Fahrzeuge ist möglich, leistungsfähige mobile Breitbandnetze stehen zur Verfügung, und RTO ist unter den Bedingungen eines im Regelbetrieb befindlichen Depots realisierbar. ■

5 Conclusion: the significance for German rail modernisation

RTO is not about replacing drivers. On the contrary, RTO allows drivers to drive even more trains by eliminating walking and waiting times. This is in line with the political goal of increasing the share of railways in overall transport. In a long-term solution with autonomous trains, the driver will be able to supervise the progress of a set of autonomous trains, only taking over the control of a single train where needed.

The project has taken a significant step on a pragmatic path towards remote and automatic train operation.

Depots are predestined to be the first RTO applications, as they offer significant potential for a high increase in efficiency (many non-revenue movements, frequent changes of direction, special types of operations such as coupling or washing). Depots also present an environment that makes the implementation of RTO easier (e.g. access control, staff available in the vicinity, a good (mobile) communication infrastructure). In addition, the presented RTO solution does not require any changes to the railway infrastructure. For example, it does not depend on the tracks being ETCS equipped. After depots, applications are also anticipated in other areas, as RTO is a significant contributor to automatic operations on the entire network [2].

The demonstration in Munich has shown the technical feasibility of RTO under real conditions. It is possible to retrofit RTO equipment into an existing train. Reliable high band-width mobile communication networks are available that allow smooth operations. Remote operation is possible under the conditions of a depot during real operations. ■

LITERATUR | LITERATURE

[1] Bekehermes, T.; Bomke, T.; Busson, A.; Miglianico, D.: Schaffung eines neuen Arbeitsumfelds für Triebfahrzeugführer, SIGNAL+DRAHT 3/2026

[2] Brandenburger, N.; Naumann, A.: Menschliche Problemlösung macht automatisierten Bahnverkehr erfolgreich, SIGNAL+DRAHT 3/2018

AUTOREN | AUTHORS

Thorsten Bomke
Urban & Autonomous Mobility Director
Alstom Saint-Ouen
Anschrift / *Address*: 48 rue Albert Dhalenne, F-93400 Saint-Ouen
E-Mail: thorsten.bomke@alstomgroup.com

Torsten Saliwada
System Engineering Group Manager
Alstom Transport Deutschland GmbH
Anschrift / *Address*: Neustadter Straße 62, D-68309 Mannheim
E-Mail: torsten.saliwada@alstomgroup.com

Thomas Weiße
Leiter Fahrzeugmanagement S-Bahn München
DB Regio AG
Anschrift / *Address*: Kronstadter Straße 50, D-81677 München
E-Mail: thomas.weisse@deutschebahn.com

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Cybersicherheit – Migration regulatorischer und interoperabilitätsbezogener Anforderungen

Cybersecurity – Migration of regulatory and interoperability-related requirements

Markus Alexander Wischy | Oliver Knapp | Max Schubert

Die Anforderung, Cybersicherheitstechnologien und -prozesse zu verbessern und in die Eisenbahninfrastruktur sowie in Fahrzeuge zu integrieren, ist bereits allgegenwärtig. Dieser Beitrag zeigt auf, wie die aktuellen Anforderungen an die Cybersicherheit integriert werden können und wie dies einen zuverlässigen, flexiblen und reibungslosen Betrieb unterstützt.

1 Motivation und regulatorischer Kontext

Die zunehmende Digitalisierung und Vernetzung von Eisenbahnsystemen hat die Cybersicherheit zu einem wichtigen Thema gemacht. Europäische Rechtsvorschriften wie NIS 2, CRA und CER schreiben sie verbindlich vor. Um einen sicheren und zuverlässigen Eisenbahnbetrieb zu gewährleisten, müssen die Cybersicherheitsansätze mit diesen sich weiterentwickelnden europäischen Vorschriften, den Herausforderungen des Eisenbahnmanagements und den technischen Standards in Einklang stehen. In diesem Zusammenhang helfen die Cybersicherheitsspezifikationen der EU Rail System Pillar („EU RSP") Cybersecurity Specifications dabei, diese Herausforderungen zu bewältigen.
Dieser Beitrag vermittelt ein Verständnis dafür, wie Cybersicherheit effizient in bestehende und neue Systeme integriert werden kann. Er thematisiert die alltäglichen Probleme, mit denen Lieferanten und Eisenbahnunternehmen konfrontiert sind – dargestellt anhand einer Studie, die auf der ERA-ERTMS-Konferenz (European Rail Traffic Management System, ERTMS) im Jahr 2026 vorgestellt wurde –, und stützt sich auf die neu veröffentlichte Migrationsrichtlinie als Ergebnis der Veröffentlichung „EU System Pillar Cybersecurity" Version 1.1.

2 Themen zur Cybersicherheit auf der ERTMS-Konferenz

Auf der ERTMS-Konferenz 2026 war Cybersicherheit eines der Hauptthemen, das mehr als 600 Personen nach Valenciennes sowie weitere Teilnehmer aus der Ferne anzog. Das Programm der Europäischen Eisenbahnagentur (ERA) signalisierte, dass Security nun bei der Interoperabilität und der Einführung berücksichtigt wird.
Kristian Schmidt, Direktor für Landverkehr bei der Europäischen Kommission (GD MOVE), nannte in seiner Eröffnungsrede Cybersicherheit als einen der drei Schwerpunktbereiche für die EU im Eisenbahnsektor. Konkret geht es um die Notwendigkeit, die technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI) im Eisenbahnsektor an die europäische Gesetzgebung wie die NIS-2-Richtlinie und die CRA anzupassen. Diese Aufgabe wird auf Ersuchen der Europäischen Kommission unter der Leitung der ERA durchgeführt.
Die Referenten und Workshop-Moderatoren hoben drei technische Prioritäten hervor:

The requirement to improve and integrate cybersecurity technologies and processes into railway infrastructure and vehicles seems to be omnipresent and overwhelming. This article shows how the current cybersecurity requirements can be integrated and how this actually supports resilient, flexible and smooth operations.

1 Motivation and the regulatory context

The increasing digitalisation and connectivity of rail systems have made cybersecurity an important topic, while European legislation such as NIS 2, CRA and CER have made it mandatory. The cybersecurity approaches must align with these evolving European regulations, the challenges faced by railway management and the technical standards so as to ensure secure and resilient railway operations. The EU Rail System Pillar's Cybersecurity Specifications help to manage the challenges within this context. This article helps the reader understand how cybersecurity can be efficiently integrated into legacy and new systems. It considers the daily problems that suppliers and railways are facing as represented by a study undertaken at the ERA ERTMS (European Rail Traffic Management System) conference in 2026 and makes use of the newly published Migration Guideline as a deliverable of the EU System Pillar Cybersecurity release Version 1.1.

2 Cybersecurity topics at the ERTMS Conference

The 2026 ERTMS Conference featured cybersecurity as one of the main topics, drawing more than 600 people to Valenciennes, as well as a number of other remote participants. The European Union Agency for Railways (ERA) program signalled that security is now being planned for interoperability and deployment.
In his opening remarks, Kristian Schmidt, the Director of Land Transport at the European Commission (DG MOVE), named cybersecurity as one of the three areas of focus for the EU in the rail sector. This is in alignment with the ERA communication regarding the forthcoming updates to the TSIs, specifically, the necessity of aligning the technical interoperability specifications (TSI) in the railway sector with European legislation such as the NIS-2 directive and the CRA. This task is being carried out at the request of the European Commission under the leadership of the ERA.
The speakers and workshop moderators emphasised three technical priorities:

- a common security architecture for ERTMS and related systems,

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

- eine gemeinsame Security-Architektur für ERTMS und verwandte Systeme,
- klarere Zertifizierungs- und Genehmigungsverfahren, die Nachweise zur Cybersicherheit einbeziehen, und
- praktische Leitlinien für Betreiber und Infrastrukturbetreiber zur Implementierung sicherer Schnittstellen und Kommunikationswege.

Die ERA veranstaltete in Zusammenarbeit mit der Cybersecurity Group der EU RSP zwei Workshops, um ein besseres Verständnis für das derzeitige Potenzial und die Abstimmung in der Branche zu gewinnen.
Dabei wurden die aktuelle Lage und die notwendige Risikominderung auf der Grundlage des aktuellen Produktportfolios der Hersteller sowie der Produktionslandschaft der Betreiber in diesem Sektor erörtert. Die Teilnehmer untersuchten Lösungen für einen reibungslosen Übergang zu einer sicheren ERTMS-Umgebung, einschließlich der Frage, wie ein effizientes europäisches Übergangsregime gestaltet werden kann. Potenzielle Kostentreiber und praktische Überlegungen zur Gewährleistung eines robusten, zukunftsfähigen ERTMS mit sicherer Interoperabilität wurden bewertet. Ein zentraler Aspekt einer effizienten Migration ist die Verfügbarkeit gemeinsamer Cybersicherheitsdienste mit standardisierten Schnittstellen.
ERTMS 2026 machte deutlich, dass Cybersicherheit für den europäischen Eisenbahnsektor mittlerweile ein zentraler Wegbereiter und kein nachträglicher Prozess ist. Da die ERA, die Industrie und die Betreiber auf harmonisierte Architekturen und die Angleichung der TSI drängen, legte die Konferenz einen praktischen Fahrplan für die Einbettung von Security in die nächste Welle von Eisenbahnimplementierungen fest.

3 Ergebnisse der Expertenbefragung zur Cybersicherheit (Umfrage)

Es wurden zwei separate Umfragen für Produkt- und Lösungsanbieter sowie Betreiber (Infrastrukturbetreiber, Eisenbahnunternehmen usw.) erstellt, um den aktuellen Security-Stand des Eisenbahnsektors besser zu verstehen.
Die Umfrage umfasst 27 Fragen für Produkt- und Lösungsanbieter, um den Status, die Lücken und die geschätzten Kostenauswirkungen auf verschiedene Security-Kostentreiber im Produktportfolio und in produktbezogenen Prozessen zu bewerten. Zu den Themen gehören erforderliche Hardware, Software (Betriebssystem und Anwendungssoftware) sowie Änderungen im Softwareentwicklungsprozess.
Die Umfrage für die Betreiber befasst sich mit dem Status, den Lücken und den geschätzten Kostenauswirkungen auf die Kostenfaktoren während des Bahnbetriebs und umfasst 29 Fragen. Zu den Themen gehören Security-Maßnahmen während der Beschaffungsphase (z. B. die Verwendung von Cybersicherheitsspezifikationen der EU RSP für Ausschreibungsverfahren), Security-Maßnahmen während des Systembetriebs sowie für Systemlebenszyklus und Betrieb der gemeinsamen Cybersicherheitsdienste.
Die wichtigsten Ergebnisse für die Produkt- und Lösungsanbieter waren:

- es existiert eine gemischte Landschaft, in der einige Unternehmen bereits die meisten Lücken geschlossen haben, während andere Unternehmen in allen Kategorien (Hardwareanforderungen, Betriebssystem, Anwendungssoftware, Softwareentwicklungsprozess) größere Lücken aufweisen,
- die große Mehrheit der Unternehmen plant die Integration ihrer Produkte in die gemeinsamen Cybersicherheitsdienste (z. B. durch die Implementierung der standardisierten Schnittstellen für die EU RSP Cybersecurity Specifications), und

- clearer certification and authorisation processes that incorporate cybersecurity evidence and
- practical guidance for operators and infrastructure managers to implement secure interfaces and communications.

The ERA hosted two workshops so as to better understand the current potential and alignment in the sector in cooperation with the Cybersecurity Domain of Europe's Rail System Pillar.
The workshops discussed the thread landscape and the necessary risk reduction based on the manufacturers' current product portfolios, as well as the operators' production landscape. The participants examined solutions to a smooth transition toward a secure ERTMS environment, including how to design an efficient European transition regime. Potential cost drivers and practical considerations for ensuring a robust, future-ready ERTMS with secure interoperability were evaluated. The discussions clearly showed that there are benefits connected with a coordinated approach following certain guardrails. One core aspect of an efficient migration is the availability of Shared Cybersecurity Services with standardised interfaces.
ERTMS 2026 made clear that cybersecurity is now a core enabler, not an afterthought, for the European rail sector. With the ERA, the industry and the operators all pushing for harmonised architectures and TSI alignment, the conference set out a practical roadmap for embedding security into the next wave of railway deployments.

3 The results from a survey of the expert opinion on cybersecurity

Two separate surveys for product and solution providers and operators (infrastructure managers, railway undertakers, ...) were created so as to better understand the railway sector's current security status. The online survey was shared via QR code to facilitate direct participation during the ERA ERTMS conference. The survey featured 27 questions for product and solution providers aimed at assessing the status, gap and estimated cost impact on various security cost drivers in their product portfolios and product-related processes. The topics included the required hardware, software (operating system and application software) and software development process changes.
The operator survey asked 29 questions on the status, gap and estimated cost impact on the cost drivers during railway operations. The topics included security activities during the procurement phase (e.g. the use of system pillar cybersecurity specifications for tender activities), security activities during system operations and the system lifecycle and operation of shared cybersecurity services.
The key findings for the product and solution providers were

- a mixed environment, where some companies have already closed most gaps and some companies have greater gaps across all categories (hardware requirements, operating system, application software, software development process),
- the great majority of companies are planning to integrate their products with the Shared Cybersecurity Services (e.g. implementing the standardised interfaces for the System Pillar Cybersecurity Specification) and
- the implementation and also the certification of a secure software development process (e.g. according to IEC 62443-4-1) is not yet pervasive across most companies.

The key findings for the railway operators were:

- showing a mixed environment where half the companies have already implemented most operational security activities and the other half still have several gaps to close,

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

- die Implementierung und darüber hinaus auch die Zertifizierung eines sicheren Softwareentwicklungsprozesses (z. B. gemäß IEC 62443-4-1) ist in den meisten Unternehmen noch nicht flächendeckend.

Die wichtigsten Ergebnisse für die Bahnbetreiber waren:

- ein uneinheitliches Bild, bei dem die Hälfte der Unternehmen die meisten betrieblichen Security-Maßnahmen bereits umgesetzt hat, während die andere Hälfte noch mehrere Lücken schließen muss,
- in den meisten Unternehmen fehlen Schwachstellenmanagement, Prozesse zur Installation von Security-Patches für nicht sicherheitsrelevante und sicherheitsrelevante Systeme sowie die Erkennung von Security-Verletzungen, und
- die Meldung von Vorfällen zur Einhaltung gesetzlicher Vorschriften ist in fast allen Unternehmen etabliert und wird regelmäßig durchgeführt.

4 Reduzierung der Kostentreiber in der Cybersicherheit im Schienenverkehr

Während des Cybersicherheits-Workshops auf der ERA-ERTMS-Konferenz kam eine lebhafte Diskussion über die wichtigsten Kostenfaktoren in aktuellen Projekten auf. Es herrschte schnell Einigkeit darüber, dass nicht auf Standards basierende, d. h. kunden- oder projektspezifische Security-Anforderungen die Projektkosten für Cybersicherheit in die Höhe treiben. Dies ist auf die spezifische Entwicklung von Eisenbahnprodukten für nicht standardisierte Anforderungen (CAPEX) sowie auf die Wartung (Schwachstellenmanagement, Erstellung von Security-Patches, Regressionstests, Patch-Dokumentation) einer bestimmten Softwarelinie für einen bestimmten Kunden oder ein bestimmtes Eisenbahnprojekt über die gesamte Produktlebensdauer (OPEX) zurückzuführen.

Eine weitere Ursache für Kostensteigerungen sind unzureichend detaillierte Security-Spezifikationen in Ausschreibungen. In solchen Fällen werden die Details erst während der Projektdurchführung festgelegt. Dies ist der Fall, wenn nur ein allgemeiner Standard gefordert wird (wie IEC 62443-3-3, EN TS 50701, IEC PT 63452) und die Risikobewertung während der Projektabwicklung durchgeführt wird. Dies kann zu Änderungswünschen und Unstimmigkeiten zwischen den Projektparteien führen, wenn die Ergebnisse der Risikobewertung nicht kalkuliert wurden oder von einer Partei nicht akzeptiert werden.

Aus den angeführten Gründen sollten Eisenbahnprojekte eine detaillierte Security-Spezifikation verwenden, die von der Industrie und den Betreibern genehmigt und unterstützt wird (wie die System Pillar Cybersecurity Specification Version 1.1).

So kann ein standardisiertes Produkt- und Lösungsportfolio geschaffen und können Aktivitäten im Produktlebenszyklus wie Schwachstellenmanagement, Entwicklung von Security-Patches, Regressionstests und Patch-Dokumentation in einer einzigen Softwarelinie gestrafft werden. Dadurch können Wartungskosten auf alle Nutzer verteilt werden, was die Kosten senkt (dies wird seit vielen Jahren im Verbraucher- und IT-Geschäft angewendet).

Werden kundenspezifische Entwicklungen angefordert, kommt dieser Skaleneffekt nicht zum Tragen. Daher sollten projekt- und kundenspezifische Anforderungen minimiert oder gänzlich vermieden werden.

Standardisierungsgremien sind jedoch offen für zusätzliche Anwendungsfälle und Anforderungen. Der Bereich „System Pillar Cybersecurity" verfügt über einen offenen Kanal für Feedback und die Erweiterung der Spezifikation. Wenn bestimmte Security-Funktionen erforderlich sind und fehlen, können die Branche und andere Betreiber überzeugt werden, diese in den Standardanforderungskatalog aufzunehmen.

- vulnerability management, security patch installation processes for both non-safety and safety systems and breach detection are missing across most companies and
- incident reporting for regulatory compliance is established and regularly executed across nearly all companies.

4 Reducing the cost drivers in rail cybersecurity

A lively discussion emerged during the cybersecurity workshop at the ERA ERTMS conference about the major cost drivers in current projects. It was quickly agreed that non-standard, i.e. customer or project specific, security requirements drive project costs for cybersecurity. This is due to specific developments in railway products used for non-standard requirements (CAPEX) and the maintenance (vulnerability management, security patch creation, regression testing, patch documentation) of a specific software line for a specific customer or railway project throughout the product's lifetime (OPEX).

Another source of cost increases is due to insufficiently detailed security specifications in tenders. In such cases, the details are only specified during the project execution. This is the case, when only a high-level standard is requested (such as IEC 62443-3-3, EN TS 50701 or IEC PT 63452) and the risk assessment is conducted throughout the project execution. This can lead to change requests and disputes among the project parties when the outcome of the risk assessment has not been costed for or is not accepted by one party.

Railway projects should use a detailed standard security specification which has been approved and supported by industry and operators (such as the System Pillar Cybersecurity Specification Version 1.1) so as to avoid these issues and any increases in the CAPEX and OPEX.

This will allow the industry to create a standardised product and solution portfolio and to streamline product lifecycle activities such as vulnerability management, security patch development, regression testing and patch documentation in a single software line. This allows the division of the maintenance costs among all the users, which subsequently lowers the costs dramatically (this has been applied in the consumer and IT business for many years).

If customer specific developments are requested, this scale of economy does not apply. Therefore, project and customer specific requirements should be minimised or avoided completely.

Standardisation groups are, however, open to additional use cases and requirements. The System Pillar Cybersecurity Domain has an open channel for feedback and specification enhancement. If certain security features are required and missing, this is an opportunity to convince the industry and any other operators to include them in the standard requirement set.

5 The publication of the ERJU System Pillar Cybersecurity Specification Version 1.1

The System Pillar within Europe's Rail has established a dedicated cybersecurity domain to define interoperability-focused security requirements that can be applied consistently across national networks and cross-border projects. In March 2026, the ERJU approved version 1.1 of the cybersecurity specifications for Europe's rail sector, prepared by the Cybersecurity Domain (fig. 1). The update, published as an improvement and clarification package to the original release, reflects nearly a year of operational feedback and formal change management following the initial 1.0 version rollout in Q1 2025 [2].

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

5 Veröffentlichung der ERJU-Spezifikation „System Pillar Cybersecurity" Version 1.1

Die System Pillar innerhalb von Europe's Rail hat einen eigenen Cybersicherheitsbereich eingerichtet, um interoperabilitätsorientierte Security-Anforderungen zu definieren, die einheitlich in nationalen Netzen und grenzüberschreitenden Projekten angewendet werden können. Im März 2026 hat die ERJU die Version 1.1 der Cybersicherheitsspezifikationen für den europäischen Eisenbahnsektor genehmigt, die vom Cybersicherheitsbereich erstellt wurde (Bild 1). Das Update, das als Paket zur Verbesserung und Klarstellung der ursprünglichen Version veröffentlicht wurde, spiegelt fast ein Jahr an Rückmeldungen aus der Praxis und formellem Änderungsmanagement nach der Einführung der ersten Version 1.0 im ersten Quartal 2025 wider [2].

Akteure aus den Bereichen Infrastrukturbetreiber, Zulieferer und andere Betreiber nutzen die neue Version bereits als praktische Referenz für harmonisierte Cybersicherheitspraktiken im gesamten europäischen Eisenbahnökosystem. Die rasche Einführung von Version 1.0, angetrieben durch den sofortigen praktischen Einsatz bei großen Infrastrukturbetreibern, schuf einen Feedback-Kreislauf, der die Ausgereiftheit der Spezifikationen wesentlich verbesserte. Version 1.1 greift diese Erkenntnisse auf und wird bereits bei der Beschaffung durch große Betreiber sowie bei den Konstruktionsaktivitäten der Zulieferer herangezogen.

Version 1.1 zielt darauf ab, drei zentrale Ergebnisse zu liefern:

- Klärung mehrdeutiger Anforderungen und redaktionelle Anpassungen, um Interpretationsunterschiede bei der Beschaffung und Bereitstellung zu verringern.
- Korrektur von Fehlern und Anpassung des Textes an die seit dem ersten Quartal 2025 gesammelten Erfahrungen bei der Umsetzung.
- Änderungen der Spezifikationen dort, wo Implementierer interoperabilitätsrelevante Funktionen angefordert haben, unter Beibehaltung der ursprünglichen Architektur und Absicht.

Der Fokus liegt weiterhin auf interoperabilitätsrelevanten Cybersicherheitskontrollen: Architekturprinzipien, Schnittstellen, sichere Kommunikation sowie die Mindest-Security-Anforderungen an Infrastrukturkomponenten und Lieferantenleistungen. Version 1.1 ist ausdrücklich als Wartungsrelease und nicht als umfassende funktionale Überarbeitung positioniert. Insgesamt wurden in diesem Bereich 103 Änderungsanträge bearbeitet, darunter zahlreiche Verbesserungen. Darüber hinaus wurde die Spezifikation als Security-Architektur in den EULYNX-Standard (BL4R4) übernommen.

Ein zentrales Ziel des Arbeitsstrangs „Cybersicherheit" der EU RSP ist die Harmonisierung der Cybersicherheitsanforderungen. Sie schließt einen Teil der praktischen Lücke, die derzeit zwischen den Interoperabilitätsanforderungen in den TSI und den durch jüngste Cybersicherheitsgesetze wie dem CRA eingeführten Verpflichtungen besteht; der TSI-Aktualisierungsprozess wird diese Unterschiede formell ausgleichen. Durch die Kodifizierung redaktioneller Korrekturen, Klarstellungen und einer kleinen Reihe neuer Interoperabilitätsfunktionen reduziert diese Veröffentlichung Unklarheiten für die Umsetzer und stärkt die Rolle der Dokumente als gemeinsame Security-Architektur für den europäischen Schienenverkehr. Da die Spezifikationen in die Technischen Anweisungen der ERA integriert und in künftigen TSI-Aktualisierungen referenziert werden, können die Interessengruppen eine kohärentere regulatorische und technische Landschaft erwarten, die sichere, grenzüberschreitende und interoperable Schienenverkehrsdienste unterstützt.

Die Dokumente enthalten bereits explizite Verknüpfungen zu wichtigen Regulierungs- und Normungsrahmenwerken (CRA, NIS-2, IEC 62243/TS 50701 und potenziell IEC 63452), wodurch Organisatio-

The stakeholders from the fields of infrastructure managers, suppliers and other operators are already treating the new release as a practical reference for harmonised cybersecurity practice across the European rail ecosystem. The rapid adoption of version 1.0, driven by its immediate practical use by the large IMs, has created a feedback loop that has materially improved the maturity of the specifications. Version 1.1 captures that learning and is already being referenced in procurement activities by large operators and design activities from suppliers.

Version 1.1 aims to deliver three core outcomes:

- The clarification of any ambiguous requirements and editorial language so as to reduce interpretation differences during procurement and deployment.
- The correction of any errors and alignment of the text with the implementation experience gathered since Q1 2025.
- The amendment of the specifications where interoperability-relevant functions have been requested by implementers, while preserving the original architecture and intent.

The scope remains focused on interoperability-relevant cybersecurity controls, i.e. architectural principles, interfaces, secure communications and the minimum security behaviours expected from infrastructure components and supplier deliverables. Version 1.1 is explicitly positioned as a maintenance release rather than a major functional overhaul. Overall, the domain has processed 103 change requests including numerous improvements (27 editorial, 49 clarifications, nine new functions, 18 error corrections). Furthermore, the specification has been adopted as security architecture within the EULYNX standard (BL4R4).

A central objective of the System Pillar cybersecurity workstream is to harmonise the cybersecurity requirements so that cross-border interoperability is not undermined by any divergent national interpretations. This closes part of the practical gap that currently exists between the interoperability requirements in the TSIs and the obligations introduced by recent cybersecurity laws like the CRA; the TSI update process will formally reconcile those differences. Version 1.1 represents a pragmatic, experience-based evolution of the System Pillar cybersecurity specifications. By codifying the editorial fixes, clarifications and a small set of new interoperability functions, the release has reduced the ambiguity for implementers and strengthened the documents' role as a common security architecture for European rail. As specifications are integrated into the ERA TDs and referenced by future TSI updates, stakeholders can expect a more coherent regulatory and technical landscape that supports secure, interoperable rail services across borders.

The documents already include explicit mappings to major regulatory and standard frameworks (CRA, NIS-2, IEC 62243/TS 50701 and potential IEC 63452), thereby enabling organisations to demonstrate compliance across both interoperability and legal dimensions.

6 The application of standard security requirements for ETCS projects

Integrating standardised cybersecurity requirements into railway projects forces suppliers to develop new products. While this may seem challenging, especially for highly regulated areas such as ERTMS, it supports a platform approach that enables continuous improvement throughout the product's lifecycle. This is because meeting the requirements set out by law and the standards (NIS 2, CRA, TS 50701/IEC 63452, IEC 62443) requires continuous up-

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

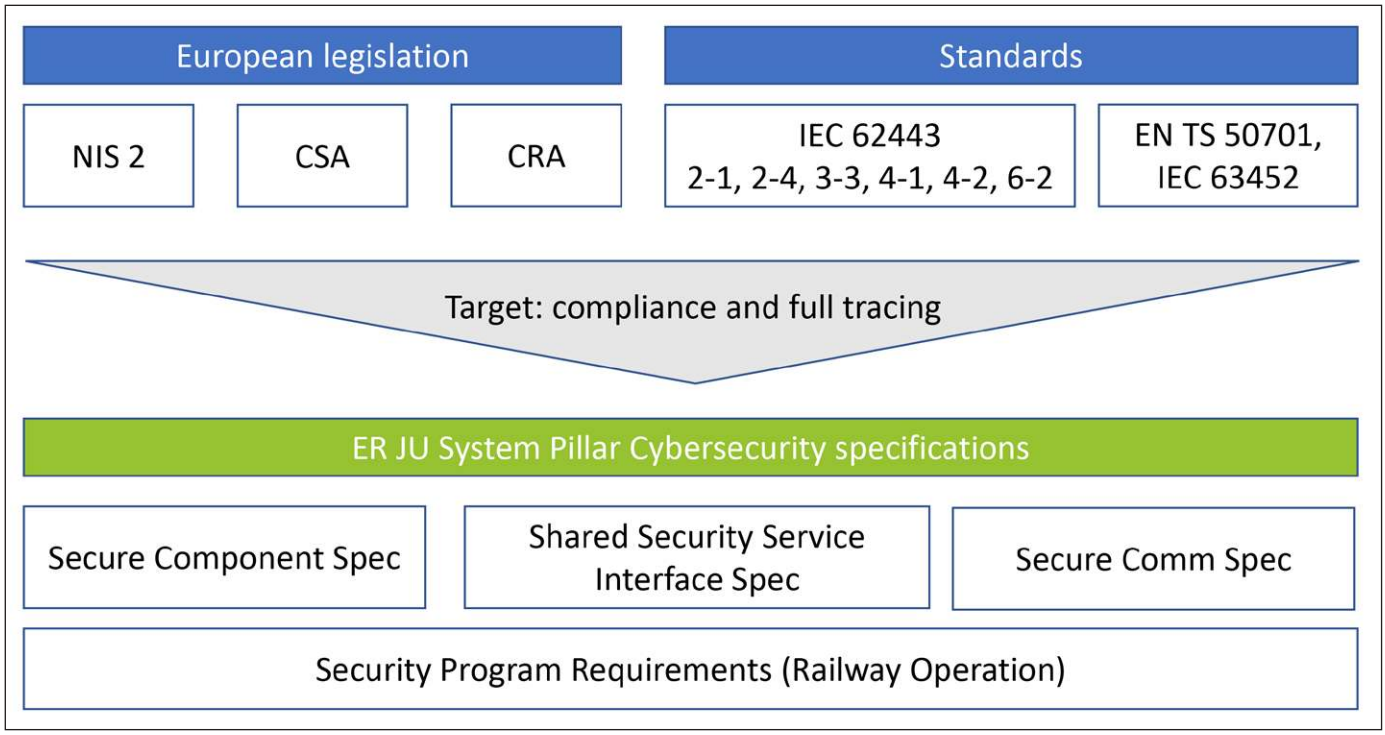


Bild 1: EU System Pillar – Anforderungsspezifikationen
Fig. 1: EU System Pillar – Specification Requirements

Quelle / *Source*: EU Rail System Pillar Cybersecurity Group

nen die Einhaltung sowohl der Interoperabilitäts- als auch der rechtlichen Anforderungen nachweisen können.

6 Anwendung standardisierter Security-Anforderungen für ETCS-Projekte

Die Integration standardisierter Cybersicherheitsanforderungen in Eisenbahnprojekte zwingt Lieferanten dazu, neue Produkte zu entwickeln. Auch wenn dies als Herausforderung erscheinen mag – insbesondere in stark regulierten Bereichen wie ERTMS –, unterstützt es einen Plattformansatz, der eine kontinuierliche Verbesserung über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg ermöglicht. Denn die Erfüllung der durch Gesetze und Normen festgelegten Anforderungen (NIS 2, CRA, TS 50701/IEC 63452, IEC 62443) erfordert eine kontinuierliche Aktualisierbarkeit. Dies kann – zusammen mit den Anforderungen der Safety-Zulassungen – nur funktionieren, wenn Safety- und Security-Funktionen so integriert sind, dass sie unabhängig voneinander nachgewiesen werden können. Dies wird allgemein als Plattformansatz bezeichnet. Noch wichtiger ist, dass dieser Ansatz und die Security-Anforderungen nicht im Widerspruch zur TSI-Interoperabilität stehen. Eine detaillierte Analyse, die im Migrationsdokument der neuesten Veröffentlichung der EU Rail System Pillar [1] dokumentiert ist, bestätigt, dass kein Konflikt zwischen den neuen Cybersicherheitsanforderungen und den älteren TSI-Versionen besteht. Jeder scheinbare Konflikt lässt sich durch systematische Methoden lösen. Folglich können die Cybersicherheitsspezifikationen der EU RSP sowohl für Nachrüstungen als auch für neue Projekte im Bereich ERTMS verwendet werden.

Diese Transformation erfordert die Übernahme von „Secure-by-Design"-Prinzipien bereits in den frühesten Entwicklungsphasen. Der Plattformansatz ermöglicht modulare Security-Updates, ohne die zentralen Interoperabilitätsfunktionen zu beeinträchtigen. Security-Anforderungen lassen sich durch Verschlüsselungs- und Authentifizierungsmechanismen effektiv in bestehende Kommunikati-

dateability. This, along with the safety approval requirements, can only work if the safety and security functions are integrated in such a way that they can be proven independently of each other. This is generally called a platform approach. This seems to lead to a completely new railway system design, but it actually does not. Even more importantly, this approach and the security requirements do not conflict with TSI interoperability. A detailed analysis documented in the migration document of the latest EU Rail SP publication [1] has confirmed that no conflict exists between the new cybersecurity requirements and the older TSI versions. Every apparent conflict can be easily resolved using systematic methods. The document provides a structured methodology for analysis and resolution. Consequently, the EU Rail SP cybersecurity specifications can be used for both retrofit and new projects in ERTMS.

The earlier suppliers integrate these standards, the greater the benefits they gain in market competitiveness. This transformation requires the adoption of secure-by-design principles from the earliest development stages. The platform approach allows modular security updates without disrupting the core interoperability functions. The security controls can be effectively layered onto the existing communication protocols using encryption and authentication mechanisms. Modern cryptographic methods introduce only negligible latency, thereby maintaining all the TSI performance requirements. As such, the created solutions can be used for legacy and new systems, a very positive paradigm change that allows an immediate switch to state-of-the-art technology instead of very slow migration processes requiring adapters for the following decades. The analysis demonstrates that all the technical concerns have practical and implementable solutions that preserve full compliance (fig. 2). In addition, suppliers gain immediate risk reduction and significantly extended asset lifecycles through proactive integration. Early adopters position themselves as trusted partners in the increasingly security-conscious railway market.

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

onsprotokolle integrieren. Moderne kryptografische Verfahren verursachen nur vernachlässigbare Latenzzeiten, wodurch alle TSI-Leistungsanforderungen erfüllt bleiben. Somit können die entwickelten Lösungen sowohl für bestehende als auch für neue Systeme genutzt werden. Die Analyse zeigt, dass es für alle technischen Bedenken praktische und umsetzbare Lösungen gibt, die die vollständige Einhaltung der Anforderungen gewährleisten (Bild 2). Darüber hinaus profitieren Anbieter durch proaktive Integration von einer sofortigen Risikominderung und deutlich verlängerten Lebenszyklen ihrer Anlagen. Early Adopters positionieren sich als vertrauenswürdige Partner im zunehmend security-bewussten Eisenbahnmarkt.

Noch ist nicht jeder Bahnbetreiber bereit, diese umfassenden Cybersicherheitslösungen in großem Maßstab umzusetzen. Sie müssen dringend die grundlegenden Cybersicherheitselemente etablieren, die für eine cybersichere und widerstandsfähige digitale Zukunft unabdingbar sind. Dies bedeutet in erster Linie die Umsetzung der Grundlagen der Cybersicherheitshygiene, beginnend mit umfassenden Asset-Management-Systemen, die vollständige Transparenz und Kontrolle über alle verbundenen Geräte, Systeme und Netzwerkkomponenten in ihrer gesamten Betriebsumgebung bieten. Außerdem erfordert es die Einrichtung robuster, gut dokumentierter und teilweise automatisierter Patch- und Schwachstellenmanagementprozesse, die sicherstellen, dass alle Komponenten – von kritischen streckenseitigen Anlagen bis hin zu bordseitigen Steuerungssystemen – zeitgerecht Security-Updates erhalten, bevor be-

However, the current reality in the railway sector is varied. Not every railway operator is yet ready to implement these comprehensive cybersecurity solutions at scale. They urgently need to do their homework very soon in order to establish the foundational cybersecurity elements that are absolutely required for a secure and resilient digital future. This means first and foremost implementing the absolute basics of cybersecurity hygiene, starting with comprehensive asset management systems that provide complete visibility and control over all the connected devices, systems and network components across their entire operating environment. It also requires establishing robust, well-documented and partly automated patch and vulnerability management processes that ensure all the components, from critical wayside equipment to onboard control systems, receive timely security updates before any known vulnerabilities can be exploited by malicious actors. This necessary evolution will ultimately bring forward the entire railway industry by establishing a more resilient operating framework. In the end, this transformation will also deliver positive impacts on all RAMS ((Reliability, Availability, Maintainability, Safety) requirements, as fully connected systems enable continuous monitoring connected to digital twins, no matter how they are implemented, thus providing unprecedented visibility and control.

The requirements are brought to the market via tenders. While the TSI only requests interoperability-relevant requirements, the

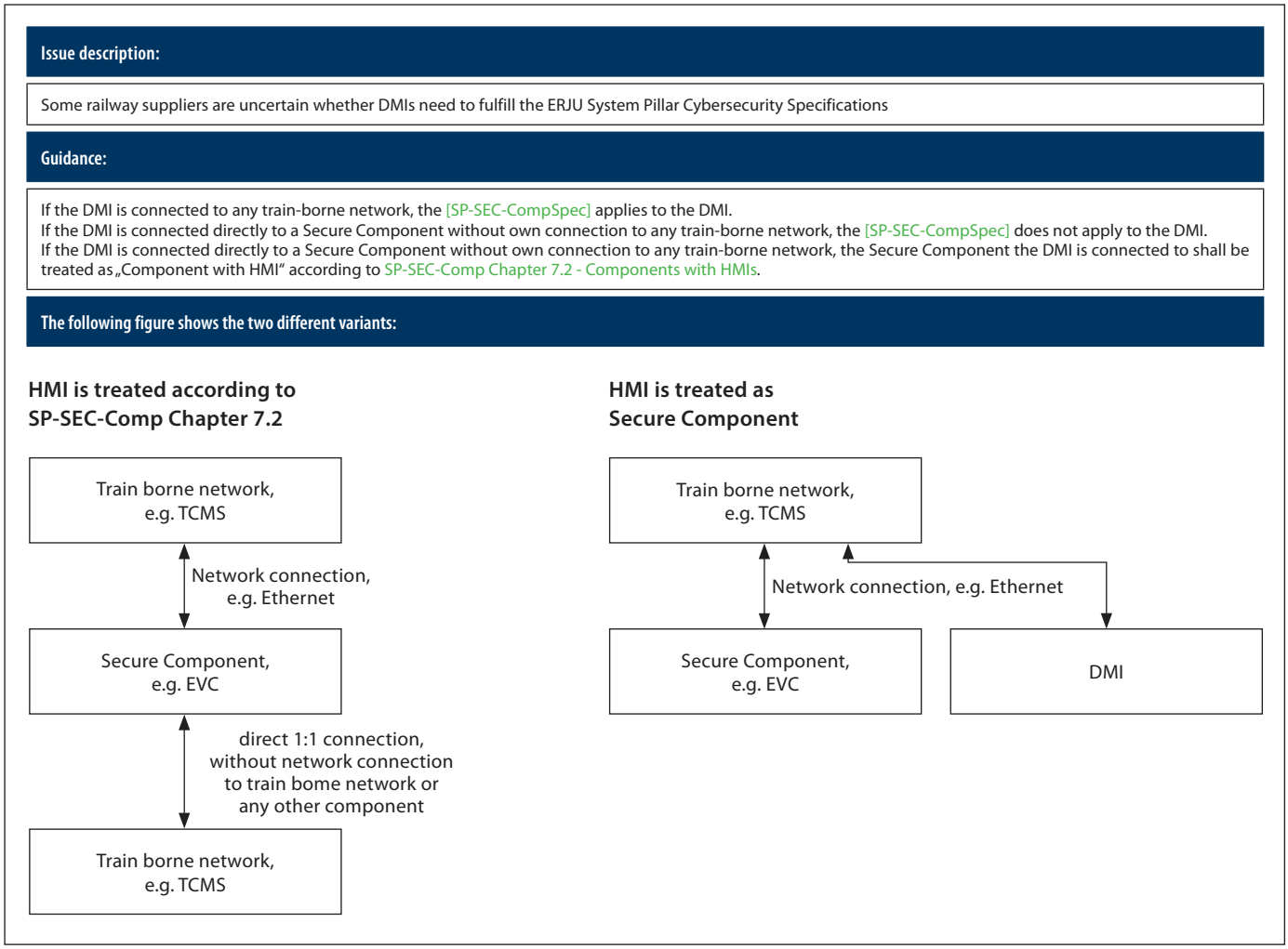


Bild 2: Verschlüsselungs- und Authentifizierungsmechanismen
Fig. 2: Encryption and authentication mechanisms

Quelle / Source: EU Rail System Pillar Cybersecurity Group

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

kannte Schwachstellen ausgenutzt werden können. Letztendlich wirkt sich diese Transformation auch positiv auf alle RAMS-Anforderungen (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) aus, da vollständig vernetzte Systeme eine kontinuierliche Überwachung in Verbindung mit digitalen Zwillingen – unabhängig von deren Implementierung – ermöglichen und so beispiellose Transparenz und Kontrolle bieten.

Die Anforderungen werden über Ausschreibungen auf den Markt gebracht. Während die TSI nur interoperabilitätsrelevante Anforderungen vorschreiben, bilden die EU-Eisenbahnspezifikationen zusammen mit bahnspezifischen Rahmenanforderungen den Rahmen. Während Ausschreibungen technische und betriebliche Fähigkeiten von den Anbietern erfordern, müssen die Bahnen gleichzeitig interne Prozessanforderungen entwickeln und die Installation und den Betrieb weiterer technischer Dienste für den späteren Betrieb vorbereiten. Ein wichtiges Beispiel sind gemeinsame Cybersicherheitsdienste. Die meisten davon sind für Eisenbahnen im Allgemeinen nicht neu, stellen jedoch im OT-Bereich eine Neuheit dar. Die Eisenbahnen müssen ihre Ausschreibungen sorgfältig auf die Betriebsbereitschaft abstimmen, um neue Produkte entsprechend aufnehmen und betreiben zu können. Security wird nicht einfach dadurch gewährleistet, dass sie von den Lieferanten verlangt wird, sondern ist ein lebenslanger Prozess. Ausschreibungen der Schweizerische Bundesbahnen AG oder der Österreichischen Bundesbahnen haben gezeigt, dass einige Eisenbahnen bereits gut vorbereitet sind.

7 Ausblick: Bevorstehende Aktivitäten und nächste Schritte

Für das Jahr 2026 werden noch mehrere Ergebnisse aus dem Bereich EU RSP Cybersecurity erwartet:

- Es werden die Updates der Security-Inhalte für die drei TSI (CCS, ENE, TELEM) entworfen, geprüft und der ERA offiziell vorgelegt.
- Zur Harmonisierung der Security-Anforderungen für den Eisenbahnsektor und über die TSI hinweg werden zwei Spezifikationsdokumente der EU RSP Cybersecurity in technische Dokumente der ERA umgewandelt. Für diese Aktivität hat die ERA eine „topical working group" eingerichtet, die im Mai 2026 ihre Arbeit aufgenommen hat.
- Es wird ein strukturierter Prozess für Security-Aktualisierungen definiert und mit allen Akteuren des Eisenbahnsektors abgestimmt, um offene Fragen zur Umsetzung von Security-Aktualisierungen, insbesondere für security-relevante Produkte und Lösungen, zu klären.
- Ein einheitlicher Security-Bewertungsprozess soll von allen Akteuren entworfen und vereinbart werden, der die Kosten minimiert und auf bestehende Prozesse abgestimmt ist.

Damit werden die meisten der während des Cybersicherheits-Workshops der ERA-ERTMS-Konferenz identifizierten Lücken geschlossen. Es ist an der Zeit, mit der Umsetzung von Cybersicherheit in Produkten, Lösungen, Ausschreibungen und im Eisenbahnbetrieb unter Verwendung allgemein anerkannter Security-Spezifikationen zu beginnen. ■

EU Rail Specifications combined with railway-specific glue requirements set the scene. Writing tender documents is a huge responsibility for the railways, as it combines knowledge of the specifications with an understanding of the actually operating railway system in toto. While tenders require technical and operating capabilities from suppliers, railways must simultaneously develop internal process requirements and prepare for the installation and operation of further technical services for later operations. An important example involves shared cybersecurity services. Most of them are not new for railways in general, but they represent a novelty in the OT field. Railways must carefully align their tenders with operational readiness so as to welcome and operate new products accordingly. Security is not just added by requiring it from suppliers, but is a life-long project, just as safety has been for decades. Tenders by Schweizerische Bundesbahnen AG or Österreichische Bundesbahnen have shown that some railways are already prepared. There are more to follow.

7 Outlook: upcoming activities and next steps

Several deliveries from the System Pillar Cybersecurity Domain are still planned for 2026:

- First, the security updates for the three TSI (CCS, ENE, TELEM) will be drafted, reviewed and formally submitted to the ERA.
- Secondly, two System Pillar Cybersecurity specification documents will be converted to ERA Technical Documents so as to harmonise the security requirements for the rail sector and across the TSI. The ERA has created a topical working group for this activity which started work in May 2026.
- Thirdly, a structured security update process will be defined and aligned with all the railway stakeholders so as to overcome the open topic of security update implementation, especially for safety-related products and solutions.
- Fourthly, a consistent security assessment process which minimises costs and is aligned to the existing processes will be designed and agreed among all the stakeholders.

This will close most of the open gaps identified during the ERA ERTMS conference's cybersecurity workshop. It is therefore time to start implementing cybersecurity in products, solutions, tenders and railway operations using well accepted security specifications. ■

LITERATUR | LITERATURE

[1] EU Rail SP: https://rail-research.europa.eu/security-2/, Zugriff: 14.07.2026

[2] Knapp, O., Poschinger, R., Weller, M., Wischy, M.: „EU-Rail veröffentlicht Cybersecurity-Spezifikation", SIGNAL&DRAHT 5/2025

AUTOREN | AUTHORS

Markus Alexander Wischy
Principal Key Expert Cybersecurity
Domain Lead Supplier EU Rail System Pillar Cybersecurity Group
Siemens Mobility GmbH
Anschrift / *Address*: Ackerstraße 22, D-38126 Braunschweig
E-Mail: markus.wischy@siemens.com

Oliver Knapp
Strategic Information Security
Domain Lead Railway EU Rail System Pillar Cybersecurity Group
DB InfraGO AG
Anschrift / *Address*: Camberger Straße 10, D-60326 Frankfurt am Main
E-Mail: oliver.knapp@deutschebahn.com

Max Schubert
CEO
EUG representative at EU Rail System Pillar Cybersecurity Group
Incyde GmbH
Anschrift / *Address*: Münzgasse 1, D-04107 Leipzig
E-Mail: max.schubert@incyde.com

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Modernisierung des ETCS-Schlüsselmanagements zur Kommunikation zwischen RBC und Fahrzeug

Modernising ETCS key management for communication between the RBC and Onboard Unit

Samet Öztekin

Mit der fortschreitenden Digitalisierung des Bahnbetriebs müssen die ETCS-Kommunikationsverbindungen (European Train Control System, ETCS) zuverlässig abgesichert werden. Die dafür zwingend notwendigen kryptographischen Schlüssel erzeugt und verwaltet ein Key Management Centre (KMC). Das heute genutzte Schlüsselmanagement ist mit vielen manuellen Schritten verbunden und entsprechend aufwendig in der Handhabung. Das neue Online Key Management Centre (oKMC) adressiert diese Schwäche, indem es den kompletten Lebenszyklus der Schlüssel durchgängig automatisiert abbildet. Das Ziel: schnellere Prozesse, geringere Fehlerquoten und eine höhere IT-Sicherheit im Schlüsselmanagement.

1 Einleitung: Ausgangslage und Problemrahmen

Der digitale Bahnbetrieb mit ETCS in der Ausprägung Level 2 verlangt eine dauerhaft abgesicherte Funkkommunikation zwischen der ETCS-Zentrale (Radio Block Centre, RBC) und dem ETCS-Fahrzeuggerät (Onboard Unit, OBU). Unter ETCS Level 2 werden dabei u.a. ETCS-Fahrterlaubnisse (Movement Authorities, MA) vom RBC an die OBU übermittelt. Diese Kommunikation stützt sich auf symmetrische kryptographische Verfahren und klare Vertrauensbeziehungen, um die Authentizität und Integrität zu gewährleisten. Die Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität im Teil Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung (TSI ZZS) erfordern die Nutzung der entsprechenden standardisierten Schnittstellen.
Die Absicherung findet anhand von symmetrischen Schlüsseln statt. Mit dem fortschreitenden ETCS-Rollout steigen sowohl der Umfang als auch die Komplexität der Aufgaben des Schlüsselmanagements. Immer mehr Strecken und Fahrzeuge sind mit Schlüsseln auszustatten, wodurch der Bedarf an Schlüsseln und Zuordnungen deutlich zunimmt. Aufgrund der steigenden Anzahl benötigter Schlüssel erhöht sich zugleich das Volumen der damit verbundenen Prozesse. All diese Prozesse müssen zuverlässig bearbeitet und verwaltet werden, um einen reibungslosen Betrieb sicherzustellen.
Insbesondere die sichere und nachvollziehbare Abbildung des gesamten kryptographischen Lebenszyklus – von der Generierung über die Verteilung und regelmäßige Rotation bis hin zur zeitkritischen Sperrung im Verdachtsfall – ist mit rein manuellen Prozessen nur schwer umsetzbar.

2 Projektüberblick und Zielbild

Um die Anforderungen an die Skalierbarkeit bei einem zunehmend digitalisierten Bahnbetrieb und die damit einhergehenden IT Security-Anforderungen zu erfüllen, vollzieht die DB InfraGO AG mit dem Projekt

The ongoing digitalisation of railway operations means that ETCS (European Train Control System) communication links must be reliably secured. The cryptographic keys required for this are generated and managed by a Key Management Centre (KMC). The key management system currently in use involves many manual steps and is correspondingly time-consuming. The new Online Key Management Centre (oKMC) addresses this weakness by fully automating the entire lifecycle of the keys. The goal: faster processes, lower error rates and higher IT security in key management.

1 Introduction: the background and problem statement

Digital rail operations using ETCS at Level 2 require permanently secure radio communication between the Radio Block Centre (RBC) and the ETCS on-board unit (OBU). Amongst other things, ETCS movement authorities (MA) are transmitted from the RBC to the OBU under ETCS Level 2.
This communication relies on symmetric cryptographic methods and clear trust relationships to ensure authenticity and integrity. The Technical Specifications for Interoperability for Control Command and Signalling (TSI CCS) require the use of the corresponding standardised interfaces.
Security is ensured using symmetric keys. As the ETCS rollout progresses, both the scope and complexity of the key management tasks are increasing. More tracks and vehicles must be equipped with keys, thereby significantly increasing the demand for keys and assignments. The rising number of required keys means that the volume of associated processes is also increasing. All these processes must be reliably managed to ensure well-functioning operations.
In particular, the secure and traceable mapping of the entire cryptographic lifecycle, from generation through to distribution and regular rotation and on to time-critical revocation in any cases of suspicion, is difficult to implement using purely manual processes.

2 Project overview and vision

In order to meet the scalability requirements of increasingly digitalised railway operations and the associated IT security needs, DB InfraGO AG is transitioning to automated key management through the “Online Key Management Centre (oKMC)” project. The system establishes a regulated, IT-supported process based on the latest state of the art that unifies the entire cryptographic lifecycle within a single platform, from application and gen-

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

„Online Key Management Centre (oKMC)" den Wechsel zum automatisierten Schlüsselmanagement. Das System etabliert einen geregelten, IT-gestützten Ablauf nach dem aktuellen Stand der Technik, der den gesamten kryptographischen Lebenszyklus in einer Plattform vereint, beginnend bei der Beantragung und Erzeugung über die Verteilung bis hin zur Sperrung und revisionssicheren Nachweisführung. Damit werden die durch den fortschreitenden ETCS-Rollout entstehenden Volumina beherrschbar und wird das operative Schlüsselmanagement vereinfacht.

2.1 Projektauftrag und Nutzen

Der Kernauftrag des Projekts besteht darin, die bislang überwiegend manuell geprägten Offline-Abläufe des Schlüsselmanagements in standardisierte und automatisierte Online-Prozesse zu überführen und die Interoperabilität entlang der TSI ZZS sicherzustellen. Das oKMC adressiert somit die einleitend beschriebenen Herausforderungen, fängt die steigenden Antrags- und Auslieferungsmengen systemisch ab, macht Schlüsselrotationen planbar und garantiert eine lückenlose Transparenz und Compliance im operativen Betrieb.

2.2 Vorgehensmodell in Stufen

Der Rollout des Projekts oKMC erfolgt sequenziell in drei Ausbaustufen. Dieser Ansatz gewährleistet, dass der operative Nutzen frühzeiteration through to distribution and on to revocation and audit-proof record-keeping. This makes the volumes generated by the ongoing ETCS rollout manageable and simplifies operational key management.

2.1 The project's scope and benefits

The core objective of the project is to transform the previously predominantly manual offline key management processes into standardised and automated online processes and to ensure interoperability in accordance with the TSI CCS. The oKMC thus addresses the challenges described above, systematically handles the increasing volumes of requests and deliveries, makes key rotations predictable and guarantees seamless transparency and compliance in operational activities.

2.2 The Phased Implementation Model

The rollout of the oKMC project will take place sequentially in three phases. This approach ensures that any operational benefits will take effect early on, while at the same time maintaining the essential backward compatibility with existing systems:

1. the Renewal of Offline Functionality (Phase 1): a more powerful offline KMC replaces the previous tools. This ensures that both the existing RBCs and OBUs and the new ETCS entities

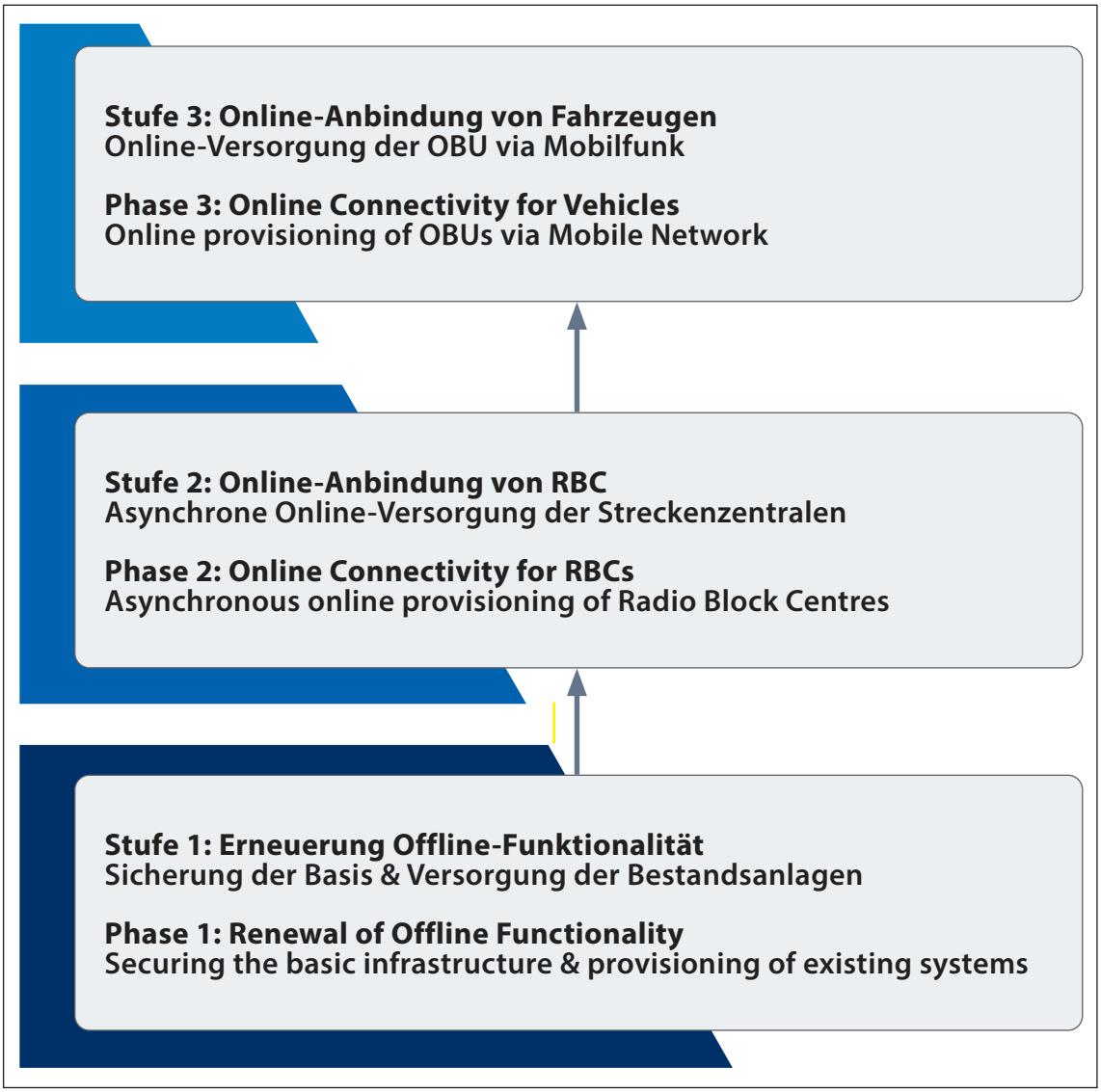


Bild 1: Stufen der Umsetzung
Fig. 1: The rollout phases

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

tig wirksam wird, während gleichzeitig die zwingend erforderliche Rückwärtskompatibilität zu Bestandsanlagen erhalten bleibt:

1. Erneuerung Offline-Funktionalität (Stufe 1): Ein leistungsfähigeres Offline-KMC ersetzt die bisherigen Werkzeuge. Dadurch ist sichergestellt, dass sowohl Bestands-RBC und Bestands-OBU als auch neue ETCS-Entitäten in der Übergangsphase zu den späteren Stufen des Projektes oKMC weiterhin zuverlässig über Offline-Wege versorgt werden.
2. Online-Anbindung von RBC (Stufe 2): Einführung einer automatisierten, asynchronen Online-Versorgung DB-interner RBC. Der Offline-Weg bleibt als geordnete Rückfallebene bestehen.
3. Online-Anbindung von Fahrzeugen (Stufe 3): Ausweitung der vollautomatisierten Online-Schlüsselverwaltungsprozesse auf OBU mit dem Ziel, manuelle Eingriffe weiter zu reduzieren und den Lebenszyklus auch fahrzeugseitig mobilfunkbasiert (GPRS oder FRMCS) ganzheitlich zu automatisieren.

2.3. Zielbild und Schnittstellen

Im Zielbild führt das oKMC standardisierte Schnittstellen (Online- sowie Offline-Verteilwege aus der TSI ZZS) enger zusammen. Der Online-Weg wird dort bevorzugt umgesetzt, wo er betriebliche Abläufe deutlich beschleunigt. Der Offline-Weg bleibt zwingend für Bestandsflotten, ausländische Partnerinfrastrukturen sowie als geordnete Rückfallebene erhalten. Die funktionale und regulatorische Zuordnung der Schnittstellen ist dabei wie folgt definiert:

- Betreiber- und länderübergreifender Austausch (KMC zu KMC via Subset-038): Der Austausch von Schlüsselmaterial über Betreiber- und Landesgrenzen hinweg erfolgt offline-basiert. Die finale Versorgung der lokalen Entitäten (Fahrzeuge und Streckenkomponenten) obliegt anschließend dem jeweiligen nationalen Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) respektive Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU). Diese lokale Distribution erfolgt bei der DB InfraGO AG gemäß Subset-114 (offline) oder Subset-137 (online) aus den TSI – bei anderen EIU können lokal ggf. auch abhängig von der technischen Befähigung der Assets andere Wege genutzt werden.
- Interner Offline-Weg (KMC zu RBC / OBU via Subset-114): Dieser Verteilweg dient der Versorgung der Bestandsinfrastruktur (Assets der DB InfraGO AG) sowie von Fahrzeugen, deren ETCS-Ausrüstung keine online-fähige Schlüsselaktualisierung unterstützt. Er fungiert grundsätzlich als Rückfallebene. Auslieferungen erfolgen hierbei nach einem strengen, systemgestützten Prozess mit definierten Freigabeschritten und dokumentierten Rückläufen.
- Interner Online-Weg (KMC zu RBC / OBU via Subset-137): Dieser primäre Zielzustand ermöglicht dann zusätzlich die automatisierte Versorgung befähigter interner Entitäten via Glasfaser respektive GSM-R / FRMCS. Erfolgreiche Transaktionen erzeugen unmittelbare, digitale Rückmeldungen in den operativen Regelbetrieb.

Alle Domänenaktionen erzeugen in dieser Zielarchitektur automatisch die passenden Aufträge. Solch eine Aktion ist beispielsweise die Zuordnung einer OBU zu einer Strecke und somit den RBC auf dieser Strecke. Die Abhängigkeiten werden im Hintergrund automatisch erstellt, systemgestützt geprüft, freigegeben und dokumentiert. Statusmeldungen bilden dabei eine durchgehende Nachweisführung und machen Arbeitsfortschritte über alle Verteilwege hinweg transparent.

3 IT-Architektur, Kernbausteine und Governance

Die in Abschnitt 2 skizzierte Automatisierung verlangt eine sichere und skalierbare IT-Architektur. Das oKMC überführt manuelle Offline-Abläufe in eine vernetzte Umgebung und verbindet TSI

continue to be reliably supplied via offline channels during the transition phase through to the later phases of the oKMC project.

2. the online connection of the RBCs (Phase 2): the introduction of the automated, asynchronous online provisioning of DB-internal RBCs. The offline channel remains in place as an orderly fallback option.
3. online vehicle connection (Phase 3): the expansion of fully automated online key management processes to the OBUs with the aim of further reducing any manual intervention and holistically automating the lifecycle on the vehicle side as well via mobile communications (GPRS or FRMCS).

2.3 The vision and interfaces

In the target image, the oKMC brings the standardised interfaces (online and offline distribution channels from the TSI CCS) closer together. The online channel is preferred in those cases where it significantly accelerates operating processes. The offline channel remains mandatory for existing fleets, foreign partner infrastructures and as an organised fallback option. The functional and regulatory assignment of the interfaces is defined as follows:

- cross-operator and cross-state exchange (KMC to KMC via Subset-038): the exchange of key material across operator and state borders is conducted offline. The final provisioning of local entities (vehicles and track components) is subsequently the responsibility of the respective national railway undertaking (RU) or infrastructure manager (IM). At DB InfraGO AG, this local distribution is carried out in accordance with Subset-114 (offline) or Subset-137 (online) from the TSI. Other IMs may also use other methods locally, depending on the technical capabilities of the assets.
- the internal offline path (KMC to RBC / OBU via Subset-114): this distribution path is used to supply the existing infrastructure (assets of DB InfraGO AG) as well as those vehicles whose ETCS equipment does not support online key updates and generally serves as a fallback solution. Deliveries are carried out according to a strict, system-supported process with defined approval steps and documented feedback loops.
- the internal online path (KMC to RBC / OBU via Subset-137): this primary target state additionally enables the automated provisioning of capable internal entities via fibre optics or GPRS / FRMCS. Successful transactions generate immediate digital feedback into regular operations.

All the domain actions automatically generate the appropriate orders in this target architecture. One such action is, for example, the assignment of an OBU to a track and thus to the RBCs on that track. The dependencies are automatically created in the background and are system-supported, verified, approved and documented. Status messages provide continuous audit trails and make the work progress transparent across all the distribution channels.

3 The IT architecture, core components and governance

The automation outlined in Section 2 requires a secure and scalable IT architecture. The oKMC transfers the manual offline processes to a networked environment and connects the TSI CCS interfaces with clear zoning, multitenancy and the separation of duties, as well as a Public Key Infrastructure (PKI) for the online channel. The following sections specify the used standards and the implemented security principles and describe the system's components.

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

ZZS-Schnittstellen mit klarer Zonierung, Mandantenfähigkeit und Separation of Duties sowie einer Public Key Infrastructure (PKI) für den Online-Weg. Die folgenden Unterkapitel konkretisieren verwendete Normen, implementierte Sicherheitsprinzipien und beschreiben Bausteine des Systems.

3.1 Angewendete Normen

Die Systemarchitektur des oKMC operiert im Spannungsfeld strenger europäischer und nationaler Vorgaben. Formale Basis ist die europäische TSI ZZS, aus welcher sich die verbindlichen Subsets (Subset-038, Subset-114 und Subset-137) für die informationstechnischen Schnittstellen und Datenformate des Key Managements ableiten.

Da die Online-Verteilung symmetrischer ETCS-Schlüssel auch über Mobilfunknetze erfolgt, ist die CENELEC-Norm EN 50159 für die sichere Kommunikation in offenen Übertragungssystemen zwingend anzuwenden. Hinsichtlich funktionaler Sicherheit, RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) und IT-Security stützt sich das oKMC zudem auf die Normen EN 50126-1 und EN 50129, die bahnspezifische DIN CLC/TS 50701 sowie auf die IEC 62443 (Teile 3-3, 4-1 und 4-2).

Auf nationaler Ebene sind die Technischen Richtlinien des Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) maßgeblich, insbesondere TR03145 (PKI) und TR02102 (Kryptographie). Ergänzend wirken DB-interne Richtlinien, die die genannten Normen für den Betrieb konkretisieren und operationalisieren.

3.2 Prinzipien für eine sichere Architektur

Um den Schutzbedarf kritischer Eisenbahninfrastrukturen (KRITIS) abzubilden, ist die Architektur nach dem Prinzip„Security by Design“ respektive „Zero-Trust“ konzipiert. Kein Teilsystem und keine Entität – weder ein RBC noch eine OBU – erhält im Netzwerk einen impliziten Vertrauensvorschuss. Jede Kommunikationsbeziehung erfordert eine vorherige, strikte kryptographische Authentifizierung. Dies umfasst eindeutige System- und Geräteidentitäten, durchgesetzte Mindeststandards für Verschlüsselung sowie eine klare Trennung von Vertrauensankern und operativem Schlüsselmaterial.

Zentral ist eine konsequente Netzwerksegmentierung in Zonen mit minimalen Conduits (Kommunikationskanälen) dazwischen, gemäß den Normvorgaben aus Abschnitt 3.1. Es gilt „Default Deny“ mit explizitem „Allow Listing“ zur Minimierung der Angriffsfläche. Die Benutzeroberfläche (GUI) ist strikt vom KMC-Core (Backend) getrennt. Administratorzugriffe sind isoliert, privilegierte Zugriffe erfolgen zeitlich begrenzt und mehrstufig authentifiziert und werden lückenlos protokolliert.

Für die Absicherung der Online-Verbindungen nutzt das System eine PKI und X.509 Zertifikate. Ergänzend bleibt der Offline-Weg verankert und folgt standardisierten Nachrichtenflüssen. Die kryptographische Absicherung erfolgt hier per S/MIME-Zertifikaten, um Integrität und Echtheit nachzuweisen. Beide Wege sind so gekoppelt, dass Migration und Fallback jederzeit möglich bleiben.

Der Schutz geheimer Informationen ist über den gesamten Lebenszyklus lückenlos sichergestellt: Erzeugung in gekapselten Komponenten, Schutz im Ruhezustand (Data at Rest) durch übergeordnete Schlüssel, Rotation ohne Betriebsunterbrechung sowie Konsistenzprüfungen zur Vermeidung überlappender Gültigkeiten. Betrieblich ergänzen Härtungsstandards, definiertes Schwachstellenmanagement sowie Backup- und Restore-Verfahren das Design. Zeit- und Identitätsdienste sind als zentrale Abhängigkeiten gegen Missbrauch abgesichert. So entsteht eine Ende-zu-Ende-Schutzkette, die Normkonformität, Interoperabilität und Skalierbarkeit zusammenführt.

3.1 The applicable standards

The oKMC system architecture operates within the framework of strict European and national requirements. The formal basis is the European TSI CCS, from which the mandatory subsets (Subset-038, Subset-114 and Subset-137) are derived for the information technology interfaces and key management data formats.

Since the online distribution of symmetric ETCS keys also takes place via mobile networks, the European Committee for Electrotechnical Standardisation (CENELEC) EN 50159 standard for secure communication in open transmission systems must be applied. With regard to functional safety, RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) and IT security, the oKMC also relies on the EN 50126-1 and EN 50129 standards, the railway-specific DIN CLC/TS 50701 and IEC 62443 (Parts 3-3, 4-1, and 4-2).

At the national level, the Technical Guidelines of the German Federal Office for Information Security (BSI) are authoritative, in particular TR03145 (PKI) and TR02102 (Cryptography). These have been supplemented with internal DB guidelines that specify and operationalise the standards for use in practice.

3.2 The principles for a secure architecture

In order to address the critical rail infrastructure security requirements (KRITIS), the architecture has been designed according to the principles of “security by design” and “zero-trust.” No subsystem or entity, whether an RBC or an OBU, is implicitly trusted within the network. Every communication connection requires prior, strict cryptographic authentication. This includes unique system and device identities, enforced minimum standards for encryption and a clear separation of the trust anchors and operational key material.

Central to this is consistent network segmentation into zones with minimal conduits (communication channels) between them in accordance with the standard requirements from Section 3.1. A “default deny” policy with explicit “allow listing” applies so as to minimise the attack surface. The user interface (GUI) is strictly separated from the KMC core (backend). Administrator access is isolated, while privileged access is time-limited, multi-factor authenticated and fully logged.

The system uses a PKI and X.509 certificates in order to secure the online connections. Additionally, the offline path remains and follows standardised message flows. Cryptographic security here is provided via S/MIME certificates so as to verify integrity and authenticity. Both paths are coupled in such a way that migration and fallback remain possible at any time.

The protection of confidential information is seamlessly ensured throughout the entire lifecycle: generation in encapsulated components, protection at rest (data at rest) via master keys, rotation without any interruption to operations and consistency checks so as to prevent any overlapping validity periods. Operationally, hardening standards, vulnerability management and backup and restore procedures complement the design. Time and identity services are secured against misuse as central dependencies. This creates an end-to-end protection chain that combines standards compliance, interoperability and scalability.

3.3 The core components of the oKMC

In order to implement these principles, the oKMC is architecturally composed of functionally separate core components that, when working together, map the entire lifecycle:

- the KMC-Core (backend): the KMC-Core is the system’s central business logic. There, asynchronous processes are con-

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

3.3 Kernbausteine des oKMC

Zur Umsetzung dieser Prinzipien setzt sich das oKMC architektonisch aus funktional separierten Kernbausteinen zusammen, die im Zusammenspiel den gesamten Lebenszyklus abbilden:

- KMC-Core (Backend): Der KMC-Core ist die zentrale Business-Logik des Systems. Hier werden asynchrone Prozesse gesteuert, eingehende Anträge verarbeitet und wird die Schlüsselerzeugung initiiert.
- GUI-Webanwendung (Frontend): Die GUI-Webanwendung ist das operative Interface für Disponenten und Administratoren zur nutzerfreundlichen Verwaltung von Aufgabenlisten, Anträgen und Freigabeworkflows.
- Hardware Security Module (HSM): Das HSM ist das physikalische Herzstück der Kryptographie. Die tatsächliche Generierung der symmetrischen ETCS-Schlüssel sowie kryptographische Signaturprozesse finden ausschließlich innerhalb dieser zertifizierten und manipulationssicheren Hardwarekomponenten statt.
- PKI / Certificate Authority (CA): Die PKI / CA verwaltet die asymmetrischen X.509-Zertifikate aller Netzteilnehmer, gewährleistet die Validitätsprüfung und steuert die Zertifikatssperrlisten (CRL).
- Datenhaltung und Audit-Log: Mit Datenhaltung und Audit-Log werden manipulationssichere Persistenzschichten für Stammdaten sowie die lückenlose, revisionssichere Protokollierung sämtlicher Systemtransaktionen gewährleistet.

Daraus ergibt sich folgende schematische Darstellung der Architektur und Schnittstellen:

3.4 Rollen und IT-Governance

Die oKMC-Architektur bildet die Governance der DB InfraGO operativ ab. Mandantenfähigkeit und strikte Separation of Duties (Trennung der Verantwortlichkeiten) stellen sicher, dass das EIU die Hoheit über Streckenzuordnungen und Freigaben behält. EVU können ausschließlich für ihre verifizierten Fahrzeuge Anträge auslösen und den Bearbeitungsstatus einsehen. Die KMC-Administration ist organisatorisch isoliert und verantwortet Querschnittsaufgaben sowie Konfiguration, ohne in fachliche Genehmigungen einzugreifen.

Freigaben und sicherheitskritische Eingriffe folgen technisch erzwungenen Workflows nach dem Vier-Augen-Prinzip. Zugriffe erfolgen über Single Sign-on (SSO) und Multi-Faktor-Authentifizierung (MFA). Privilegierte Verbindungen werden zusätzlich netzseitig beschränkt. Alle Schritte von der Antragstellung bis zu Auslieferungen und Rückläufen werden manipulationssicher protokolliert und an das Security Operations Centre (SOC) der Deutschen Bahn AG gemeldet. So entstehen belastbare Nachweise für Audits und Aufsichten wie das Eisenbahn-Bundesamt (EBA) und BSI im KRITIS-Kontext.

4 Projektorganisation und Entwicklungspartner

Ein Vorhaben der sicherheitstechnischen Tragweite und architektonischen Komplexität des oKMC erfordert eine hochgradig kollaborative Projektorganisation. Die Realisierung erfolgt bewusst nicht im informationstechnischen Vakuum, sondern an der Schnittstelle zwischen Leit- und Sicherungstechnik (LST), moderner IT und strenger DB Konzern Governance. Das Projekt stützt sich dabei auf ein starkes Netzwerk aus internen Einheiten und spezialisierten Technologiepartnern.

Systemverantwortung und Infrastruktur: Die übergeordnete Systemverantwortung sowie die fachliche Führung obliegen der DB InfraGO AG. Als Betreiberin der Eisenbahninfrastruktur verantwortet sie zudem die Bereitstellung der IT-Infrastruktur – einschließlich der hochverfügbaren Hardware- und Betriebsinfrastruktur in den Betriebszentralen.

trolled, incoming requests are processed and key generation is initiated.

- the GUI web application (frontend): the GUI web application is the operational interface for dispatchers and administrators, enabling the user-friendly management of task lists, requests and approval workflows.
- the Hardware Security Module (HSM): the HSM is the physical heart of the cryptography. The actual generation of symmetric ETCS keys as well as cryptographic signature processes takes place exclusively within these certified and tamper-proof hardware components.
- the PKI / Certificate Authority (CA): the PKI / CA manages the asymmetric X.509 certificates of all the network participants, ensures certificate validation and maintains the Certificate Revocation Lists (CRL).
- the data storage and audit log: the data storage and the audit log ensure tamper-proof persistence layers for data as well as the complete, audit-proof logging of all the system transactions.

This results in the following schematic representation of the architecture and interfaces:

3.4 The roles and IT governance

The oKMC architecture operationally maps the DB InfraGO governance. Multitenancy and the strict separation of duties ensure that the IM retains control over track assignments and approvals. RUs can only submit requests for their verified vehicles and view the processing status. The KMC administration is organisationally isolated and is responsible for cross-functional tasks and configuration without interfering with technical approvals.

Approvals and safety-critical interventions follow technically enforced workflows based on the two-person rule. Access is granted via single sign-on (SSO) and multifactor authentication (MFA). Privileged connections are additionally restricted at the network level. All the steps, from request submission to deliveries and returns, are logged in a tamper-proof manner and reported to Deutsche Bahn AG's Security Operations Centre (SOC). This provides reliable evidence for any audits and for regulatory oversight bodies such as the Federal Railway Authority (EBA) and BSI within the KRITIS context.

4 The project organisation and development partners

A project of the security-related scope and architectural complexity of the oKMC requires highly collaborative project organisation. Implementation is deliberately not carried out within an information technology vacuum, but at the interface between the Train Control Systems, Control-Command and Signalling (CCS) and modern information technology and with strict DB Group governance. The project relies on a strong network of internal units and specialised technology partners.

System responsibility and infrastructure: the overall system responsibility and technical leadership rest with DB InfraGO AG. As the infrastructure manager for the rail infrastructure, it is also responsible for providing the IT infrastructure, including the high-availability hardware and operating infrastructure at the operation centres.

Software development and IT integration: Signon Deutschland GmbH (Signon) is primarily responsible for the design and agile software development of the oKMC. As a specialised development partner, Signon combines deep expertise in European

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

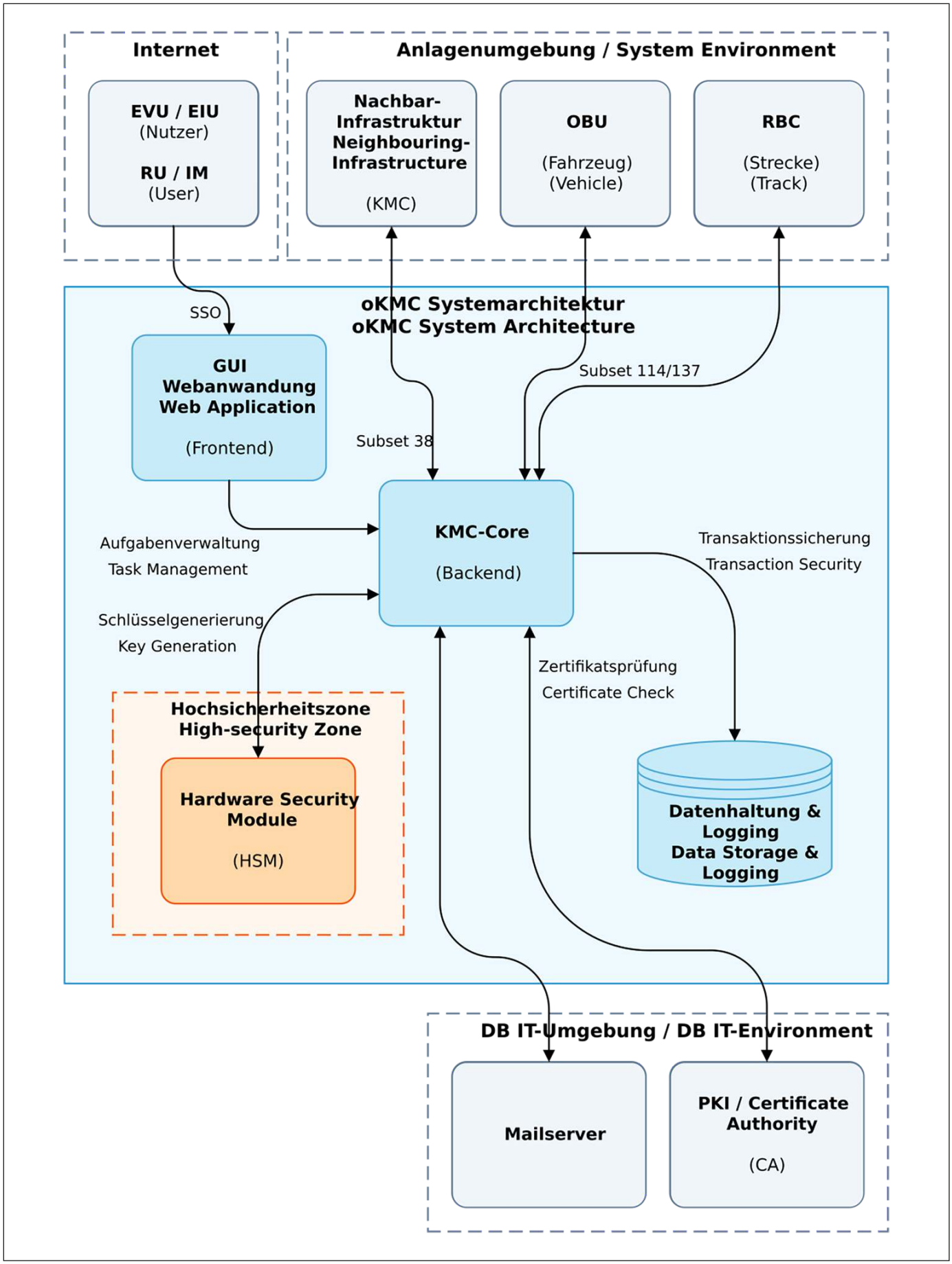


Bild 2: Architektur und Schnittstellen
Fig. 2: Architecture and interfaces

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Softwareentwicklung und IT-Integration: Die Konzeption und agile Softwareentwicklung des oKMC wird maßgeblich durch die Signon Deutschland GmbH (Signon) verantwortet. Als spezialisierter Entwicklungspartner verbindet Signon tiefe Expertise in der europäischen ETCS-Standardisierung mit moderner, sicherer Softwarearchitektur. Als zentraler Inhouse-IT-Dienstleister fungiert die DB Systel GmbH (DB Systel). Sie stellt die nahtlose Einbettung des Systems in die hochkomplexe IT-Landschaft des DB-Konzerns sicher und unterstützt bei Querschnittsaufgaben und dem IT-Betrieb.
Test und Abnahme: Da das oKMC KRITIS-Anforderungen und strenge Zulassungsprozesse durchlaufen muss, hat die Qualitätssicherung höchste Priorität. Die systematische Durchführung von Tests sowie die Validierung der Schnittstellen verantwortet Engineering und Software-Entwicklung GmbH (ESE) als unabhängiger Prüf- und Engineering-Partner.
Zulassung und Regulatorik: Die finale Verantwortung für die Zulassung und somit Inbetriebnahme des Systems liegt bei der DB InfraGO AG. Ein kritischer Erfolgsfaktor für diese reibungslose Zulassung ist die konsequente Anwendung des Abschnitts 5 der Sektorleitlinie 2.0. Diese Vorschrift strukturiert den formalen Nachweis der IT-Sicherheit für LST-Komponenten und regelt das strukturierte Vorgehen für Zulassungen in diesem hochsensiblen Umfeld.
Durch die enge Verzahnung und effektive Zusammenarbeit von DB InfraGO AG, Signon, ESE und DB Systel wird sichergestellt, dass das Gesamtsystem den höchsten Sicherheitskriterien entspricht und die Schnittstellen TSI-konform erfolgen.

5 Fazit

Der Digitale Bahnbetrieb stellt höchste Anforderungen an IT-Sicherheit, Skalierbarkeit und Nachweisbarkeit. Die steigende Nachfrage im Schlüsselmanagement kann durch manuelle Schlüsselprozesse nicht abgedeckt werden. Mit dem oKMC schafft die DB InfraGO AG einen systemgestützten Dienst, der den gesamten Lebenszyklus kryptographischer Schlüssel standardisiert, automatisiert und revisionssicher macht.
Das technische Zielbild für das Schlüsselmanagement beruht auf klaren Normbezügen und einer Sicherheitsarchitektur nach dem Zero-Trust-Prinzip. Netzwerkzonierung, minimal gehaltene Conduits, Mandantenfähigkeit und strikte Separation of Duties sorgen für einen streng kontrollierten Betrieb. Konsistenzprüfungen, manipulationssichere Protokolle und eine integrierte IT-Governance erzeugen dabei jederzeit Protokolle für Audits und Aufsichtsbehörden.
Der gewählte dreistufige Rollout des oKMC verbindet frühen operativen Nutzen mit einer signifikanten Reduktion von Projektrisiken. Bereits Mitte 2026 geht die erste Ausbaustufe in Betrieb, gefolgt von der zweiten Stufe zum Jahresende 2026. Die dritte Stufe komplettiert das System im Anschluss. Die kollaborative Projektorganisation mit klarer Systemverantwortung und spezialisierten Entwicklungspartnern stellt sicher, dass normative Vorgaben, IT-Sicherheit und betriebliche Praxisanforderungen erfolgreich zusammenfinden. Tests und tiefgreifende Qualitätssicherung machen das Ergebnis tragfähig. Damit liegt die Grundlage für ein dauerhaft skalierbares und sicheres Schlüsselmanagement unter ETCS in Deutschland vor. ■

ETCS standardisation with modern, secure software architecture. DB Systel GmbH (DB Systel) serves as the central in-house IT service provider. It ensures the seamless integration of the system into the highly complex IT landscape of the DB Group and provides support for any cross-functional tasks and IT operations.
Testing and acceptance: quality assurance is a top priority, given that the oKMC must meet KRITIS requirements and undergo strict approval processes. Engineering und Software-Entwicklung GmbH (ESE) is responsible for the systematic execution of the tests and the validation of the interfaces as an independent testing and engineering partner.
Approval and regulatory compliance: DB InfraGO AG has final responsibility for the approval and, consequently, the commissioning of the system. A critical success factor for this authorisation is the consistent application of Section 5 of the EBA's sectoral guidelines (Sektorleitlinie 2.0). This regulation structures the formal demonstration of IT security for CCS components and governs the structured approach to approvals within this highly sensitive environment.
The close integration and effective collaboration between DB InfraGO AG, Signon, ESE and DB Systel ensures that the overall system meets the highest security criteria and that the interfaces are TSI-compliant.

5 Conclusion

Digital rail operations place the highest demands on IT security, scalability and verifiability. The growing demand for key management cannot be met by manual key processes. With oKMC, DB InfraGO AG is creating a system-supported service that standardises, automates and makes the entire lifecycle of cryptographic keys audit-proof.
The technical vision for key management is based on clear standards and a security architecture following the zero-trust principle. Network zoning, minimal conduits, multitenancy and strict separation of duties ensure closely controlled operations. Consistency checks, tamper-proof logs and integrated IT governance always generate logs for audits and the regulatory authorities.
The chosen three-phase rollout of the oKMC combines early operational benefits with a significant reduction in project risks. The first phase will go live as early as this year, followed by the second phase. The third phase will then complete the system. The collaborative project organisation, with clear system responsibility and specialised development partners, has ensured that regulatory requirements, IT security and practical operational needs have been successfully aligned. Testing and thorough quality assurance ensures the robustness of the result. This is laying the foundation for a permanently scalable and secure key management system under ETCS in Germany. ■

AUTOR | AUTHOR

Samet Bahadir Öztekin, M. Sc.
Technischer Projektleiter, oKMC / *Technical Project Manager, oKMC*
DB InfraGO AG
Anschrift / *Address*: Auenweg 7, D-50679 Köln
E-Mail: samet-bahadir.oeztekin@deutschebahn.com

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Systematische Behandlung von Fehlern in ETCS-Spezifikationen: der Error Correction Process

Systematic handling of errors in ETCS specifications: the Error Correction Process

Manuel Hamm | Yadi Han | Julia Jost | Miles Lanzer

Ziel des Error Correction Process für das European Train Control System (ETCS) ist die systematische Behandlung von Fehlern in ERTMS-/ETCS-Spezifikationen zur Sicherstellung von Interoperabilität, Sicherheit und stabilem Betrieb. In der aktuellen Fassung der TSI ZZS 2023/1695 ist dieser in Kapitel 7.2.10.1. nicht ausreichend konkretisiert. Dies führt in der Praxis zu Interpretationsspielräumen. Vor diesem Hintergrund wurde ein TSI-konformer, DB-interner Error Correction Process erarbeitet. Der Beitrag beschreibt die Herleitung aus der TSI ZZS sowie dessen Anwendung mit Fokus auf die Beantwortung von sog. Baseline-Compatibility-Assessment (BCA)-Questionnaires.

1 TSI ZZS

Ein Ziel der europäischen Eisenbahnpolitik ist die Etablierung eines harmonisierten und wettbewerbsfähigen Binnenmarkts, auch SERA genannt (Single European Railway Area). Die Interoperabilitätsrichtlinie (EU) 2016/797 spielt hierbei eine zentrale Rolle, denn sie definiert die technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI) für strukturelle und funktionale Teilsysteme und bildet somit eine Grundlage für Zulassungs- und Genehmigungsverfahren der Fahrzeuge und ERTMS-Streckentechnik (European Rail Traffic Management System).
Zusätzlich stärkt sie die zentrale Rolle der Europäische Eisenbahnagentur (ERA) u. a. als One-Stop-Shop sowie als Betreiber zentraler Register (z. B. RINF).
Die TSI ZZS (Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung) beschreibt die fahrzeug- und streckenseitigen ZZS-Teilsysteme einschließlich Schnittstellen, Leistungsanforderungen, Nachweis- und Bewertungsmethoden sowie Übergangs- und Kompatibilitätsregeln. Aktuelle Rechtsgrundlage ist hierbei die Durchführungsverordnung (EU) 2023/1695. ERTMS-Spezifikationen (u. a. ETCS-Baselines und Systemversionen) sind Bestandteil der TSI ZZS.
Anfallende Änderungen und Fehlerkorrekturen während beispielsweise der Entwicklung oder dem Betrieb werden durch die ERA im Rahmen des Change Control Management (CCM) gesteuert, wobei auch Auswirkungen auf die Kompatibilität, vor allem die Abwärtskompatibilität, bewertet werden. Ziel hierbei ist stets die Sicherstellung von Sicherheit, Kompatibilität, Stabilität im Betrieb und Interoperabilität.

2 Abwärtskompatibilität

Abwärtskompatibilität bedeutet, dass ein Fahrzeug mit gleicher oder höherer Systemversion auf einer Strecke mit gleicher oder niedrigerer Systemversion betrieben werden kann bzw. darf. Die ak-

The objective of the European Train Control System (ETCS) Error Correction Process involves the systematic handling of any errors in the ERTMS/ETCS specifications in order to ensure interoperability, safety and stable operations. Chapter 7.2.10.1 of the current version of the TSI CCS 2023/1695 does not sufficiently specify this process, thereby leading to interpretative ambiguities in practice. A TSI-compliant, DB-internal Error Correction Process has therefore been developed within this context. This article describes how it has been derived from the TSI CCS as well as its application, with particular focus on the handling of so-called Baseline Compatibility Assessment (BCA) questionnaires.

1 TSI CCS

One of the goals of the European railway policy is to establish a harmonised and competitive single market, also known as the Single European Railway Area (SERA). The Interoperability Directive (EU) 2016/797 plays a central role in this regard, as it defines the technical specifications for interoperability (TSI) pertaining to structural and functional subsystems and thus forms the basis for the authorisation and approval procedures for rolling stock and ERTMS (European Rail Traffic Management System) trackside equipment.
In addition, it also strengthens the central role of the European Railway Agency (ERA), including its role as a one-stop shop and as the operator of the central registers (e.g. RINF).
The TSI CCS (Control Command and Signalling) describes the on-board and trackside CCS subsystems, including the interfaces, performance requirements, verification and validation methods, as well as the transition and compatibility rules. Implementing Regulation (EU) 2023/1695 constitutes the current legal basis for this. The ERTMS specifications (including ETCS baselines and system versions) are part of the TSI CCS.
Any changes and bug fixes that arise during development or operations, for example, are managed by the ERA as part of the Change Control Management (CCM), during which the impact on compatibility, particularly backward compatibility, is also assessed. The goal here is always to ensure safety, compatibility, operational stability and interoperability.

2 Backward compatibility

Backward compatibility means that a vehicle with the same or a higher system version can be operated on a line with the same or a lower system version. The current specification covers ETCS

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

tuelle Spezifikation umfasst die ETCS Baseline 4 mit mehreren Systemversionen, die Funktionen früherer Baselines abbilden.
Eine Inkompatibilität entsteht, wenn die streckenseitige Ausrüstung eine höhere ETCS-Systemversion erfordert als das Fahrzeuggerät unterstützt. Ein Zug mit ETCS-Systemversion X=2 kann beispielsweise auf einer Strecke mit Systemversion X=1 verkehren, jedoch nicht auf einer Strecke mit Systemversion X=3.

3 CCM

CCM ist der von der ERA etablierte Prozess zur Steuerung von Änderungen und Weiterentwicklungen der ERTMS-Spezifikationen. Im Rahmen des CCM werden erkannte Inkonsistenzen oder Lücken in Spezifikationen (z. B. aus dem Subset 113 / Hazard Log) als Fehler identifiziert und über formale Change Requests (CR) durch berechtigte Organisationen, etwa durch Mitgliedstaaten, nationale Sicherheitsbehörden oder Vertretergremien, eingereicht.
Die CR werden durch das ERA Extended Core Team (EECT) geprüft, klassifiziert und bei Bedarf an spezialisierte Arbeitsgruppen übergeben. Fehlerkorrekturen werden thematisch gebündelt und in sogenannten „Error"-Paketen zusammengeführt, die als Grundlage für Wartungsreleases dienen. Diese führen zu angepassten Spezifikationen und tragen zur Sicherstellung von Interoperabilität und stabilem Betrieb bei.
Der CCM-Prozess ist mehrstufig organisiert: Das EECT koordiniert die Bearbeitung, Arbeitsgruppen erarbeiten technische Lösungen, die ERA Control Group übernimmt die übergeordnete Steuerung, und das Board gibt die finalen Freigaben. Dadurch wird ein transparenter, international abgestimmter und nachvollziehbarer Änderungsprozess sichergestellt.

4 Prozessbeschreibung

Wie in der Einleitung bereits beschrieben, wurde aufgrund der fehlenden Detailierung in Zusammenarbeit mit verschiedenen Abteilungen der DB InfraGO AG, den Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) und Herstellern ein TSI-konformer, DB interner Error Correction Process entworfen. Dieser Fehlerkorrekturprozess integriert sich in bereits bestehende Regelungen und Vorgaben.
Der Prozess gliedert sich grob in drei Phasen (Bild 1):
1. Identifikation und Bewertung
2. Verteilung und Abstimmung
3. Fehlerbehebung und Dokumentation

Baseline 4 with multiple system versions that implement functions from earlier baselines.
Incompatibility arises when the trackside equipment requires a higher ETCS system version than the onboard equipment supports. For example, a train with ETCS system version X=2 can operate on a line with system version X=1, but not on a line with system version X=3.

3 CCM

CCM is the process established by the ERA to manage any changes and further developments to the ERTMS specifications. Any identified inconsistencies or gaps in the specifications (e.g. from Subset 113 / Hazard Log) are classified as errors and submitted via formal Change Requests (CRs) by authorised organisations, such as member states, national safety authorities, or representative bodies, within the framework of CCM.
The CRs are reviewed and classified by the ERA Extended Core Team (EECT) and, if necessary, forwarded to specialised working groups. Error corrections are grouped by topic and consolidated into so-called "error" packages, which serve as the basis for maintenance releases. These result in updated specifications and help ensure interoperability and stable operations.
The CCM process is organised in multiple stages: the ERA Extended Core Team coordinates the processing, working groups develop the technical solutions, the ERA Control Group oversees the process and the Board provides the final approvals. This ensures a transparent, internationally coordinated and traceable change process.

4 Process description

As described in the introduction, a TSI-compliant, DB-internal error correction process has been designed in collaboration with various departments at DB InfraGO AG, the railway undertakings (RUs) and the manufacturers due to a lack of detail. This error correction process has been tailored to ETCS and integrated into the existing regulations and guidelines.
The process is broadly divided into three phases (fig. 1):
1. Identification and assessment
2. Distribution and coordination
3. Error correction and documentation

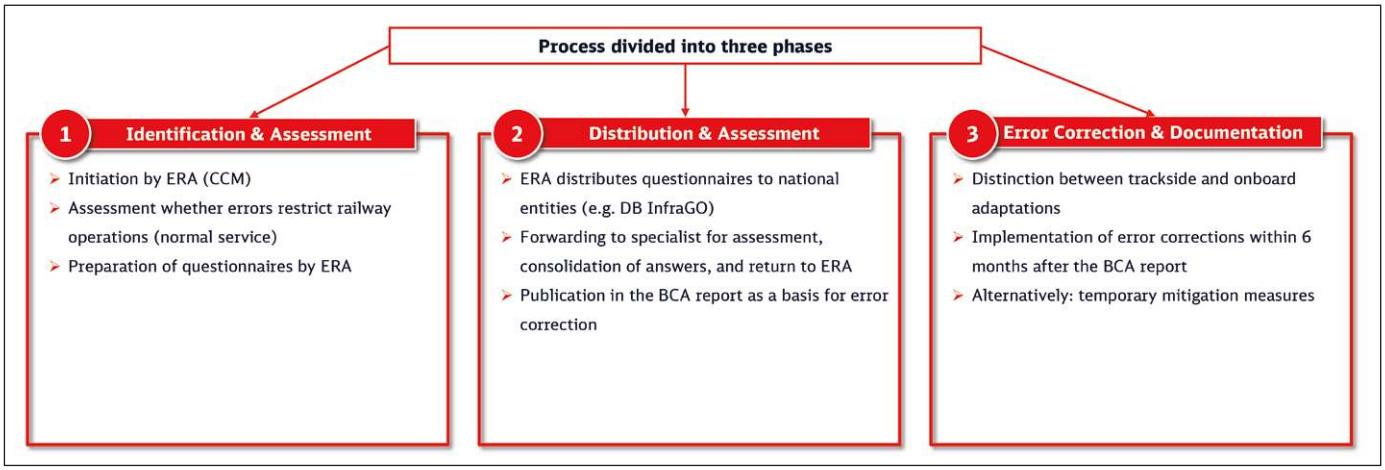


Bild 1: Prozessaufteilung in drei Phasen
Fig. 1: The process broken down into three phases

Quelle / *Source*: Julia Jost, Miles Lanzer

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

4.1 Identifikation und Bewertung

Der Anstoß des Prozesses erfolgt durch die ERA, in dem alle Änderungen oder Fehler im Rahmen ihres Änderungs- und Fehlermanagements (CCM) aufgenommen werden. Im ersten Schritt prüft die ERA, ob ein Fehler den Betrieb einschränkt oder nicht. Anschließend erstellt die ERA sogenannte BCA-Questionnaires (Baseline-Compatibility-Assessment-Fragebögen), die alle relevanten Informationen zu den jeweiligen Änderungen oder Fehlern erfassen sollen.

4.2 Verteilung und Abstimmung

Die BCA-Questionnaires werden über die jeweiligen Sektororganisationen an die nationalen Unternehmen wie z. B. die DB InfraGO AG verteilt. Innerhalb dieser werden die Questionnaires durch die notwendigen Fachabteilungen, teilweise mit Unterstützung der Hersteller, innerhalb einer definierten Frist beantwortet. Die ERA sammelt und konsolidiert alle Ergebnisse und Beantwortungen und veröffentlicht diese in einem BCA-Report (Baseline-Compatibility-Assessment-Report). Dieser Report ist die Grundlage für das weitere Vorgehen im Sektor.

Der Aufbau sowie die Beantwortung von BCA-Questionnaires durch die DB InfraGO AG werden im zweiten Teil des Beitrags detailliert beschrieben.

4.3 Fehlerbehebung und Dokumentation

Nach der Veröffentlichung des BCA-Reports wird bewertet, ob und in welchem Umfang die beschriebenen Fehler Auswirkungen auf Hersteller, Betreiber oder Infrastruktur haben. Es gibt zwei mögliche Ergebnisse zu der Bewertung der Fehler. Wird ein Fehler als akzeptabel eingestuft, wird lediglich diese Entscheidung dokumentiert. Es sind keine Korrekturmaßnahmen erforderlich.

Wenn eine Fehlerbehebung notwendig wird, unterscheidet der Prozess zwischen streckenseitigen und fahrzeugseitigen Maßnahmen. Diese Fehlerbehebungen müssen innerhalb von sechs Monaten nach der Veröffentlichung des BCA-Reports bekannt gegeben werden.

Soweit streckenseitige Anpassungen der Infrastruktur erforderlich sind (z. B. Anpassung von Balisentelegrammen), stoßen die internen Fachabteilungen der DB InfraGO AG die technischen Änderungen an und führen ggf. zusätzliche Prüfungen durch.

Fahrzeugseitige Anpassungen sind immer dann erforderlich, wenn der Infrastrukturbetreiber im Infrastrukturregister (RINF) Fehlerkorrekturen festlegt. Diese betreffen sowohl den Hersteller als auch die EVU, welche die betroffenen Fahrzeuge identifizieren und die notwendigen Korrekturen einleiten. Begleitend zu den fahrzeugseitigen Fehlerbehebungen können temporär infrastrukturseitige Abhilfemaßnahmen vereinbart werden, um den Betrieb aufrechtzuerhalten, bis die endgültigen Korrekturen auf den Fahrzeugen umgesetzt sind.

Am Ende des Prozesses steht die vollständige Dokumentation aller Schritte.

5 Der Bearbeitungsprozess von BCA-Questionnaires

Die BCA-Questionnaires sind in mehrere „Batches" mit unterschiedlichen Fristen gestaffelt, wodurch der Arbeitsaufwand zur Beantwortung der Questionnaires über einen größeren Zeitraum verteilt wird (Bild 2).

Wie im Abschnitt „CCM" beschrieben, stellen die Fehlerkorrektur-CR die Basis für die Fragestellungen der BCA-Questionnaires dar. Innerhalb eines „Batch" ist jedes Questionnaire einem Fehlerkorrektur-CR zugeordnet. Ein Questionnaire enthält mehrere Fragestellungen dazu, wie die in dem Fehlerkorrektur-CR beschriebenen Sachverhal-

4.1 Identification and assessment

The process is initiated by the ERA, which records all the changes or errors as part of its CCM. In the first step, the ERA determines whether an error restricts operations. The ERA then creates so-called BCA questionnaires, designed to collect all the relevant information regarding the respective changes or errors.

4.2 Distribution and coordination

The respective sector organisations distribute the BCA questionnaires to national companies such as DB InfraGO AG. The questionnaires are answered by the relevant departments within these companies within a defined timeframe, in some cases with support from the manufacturers. The ERA collects and consolidates all the results and responses and publishes them in a BCA Report. This report serves as the basis for further action within the sector.

The structure of the BCA questionnaires and the process by which DB InfraGO AG completes them are described in detail in the second part of this article.

4.3 Error correction and documentation

Following the publication of the BCA Report, an assessment is conducted to determine whether and to what extent the described Error Correction CRs have an impact on manufacturers, operators or infrastructure manager (IM). The error assessment has two possible outcomes. If an error is classified as acceptable, only this decision is documented. No corrective actions are required.

If a corrective action is necessary, the process distinguishes between trackside and on-board measures. These corrective actions must be announced within six months of the publication of the BCA Report.

If trackside adjustments to the infrastructure are required (e.g. the modification of balise telegrams), the relevant internal departments at DB InfraGO AG initiate the technical changes and conduct additional assessments as necessary.

Vehicle-side adjustments are always required when the IM specifies error corrections in the Infrastructure Register (RINF). These apply to both the manufacturer and the RUs, which then identify the affected vehicles and initiate the necessary corrections.

Temporary infrastructure-side remedial measures may be agreed upon in conjunction with the vehicle-side error corrections so as to maintain operations until the final corrections have been implemented on the vehicles.

The process concludes with the complete documentation of all the steps.

5 Processing the BCA questionnaires

The BCA questionnaires are grouped into several batches with different deadlines, thereby allowing the workload associated with answering them to be distributed over a longer period (fig. 2).

As described in the "CCM" section, the error correction CRs form the basis for the questions contained in the BCA questionnaires. Each questionnaire is assigned to one Error Correction CR within a batch. Each questionnaire contains several questions regarding how the issues described in the Error Correction CR have been implemented or will be implemented by the respective IM.

© 2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

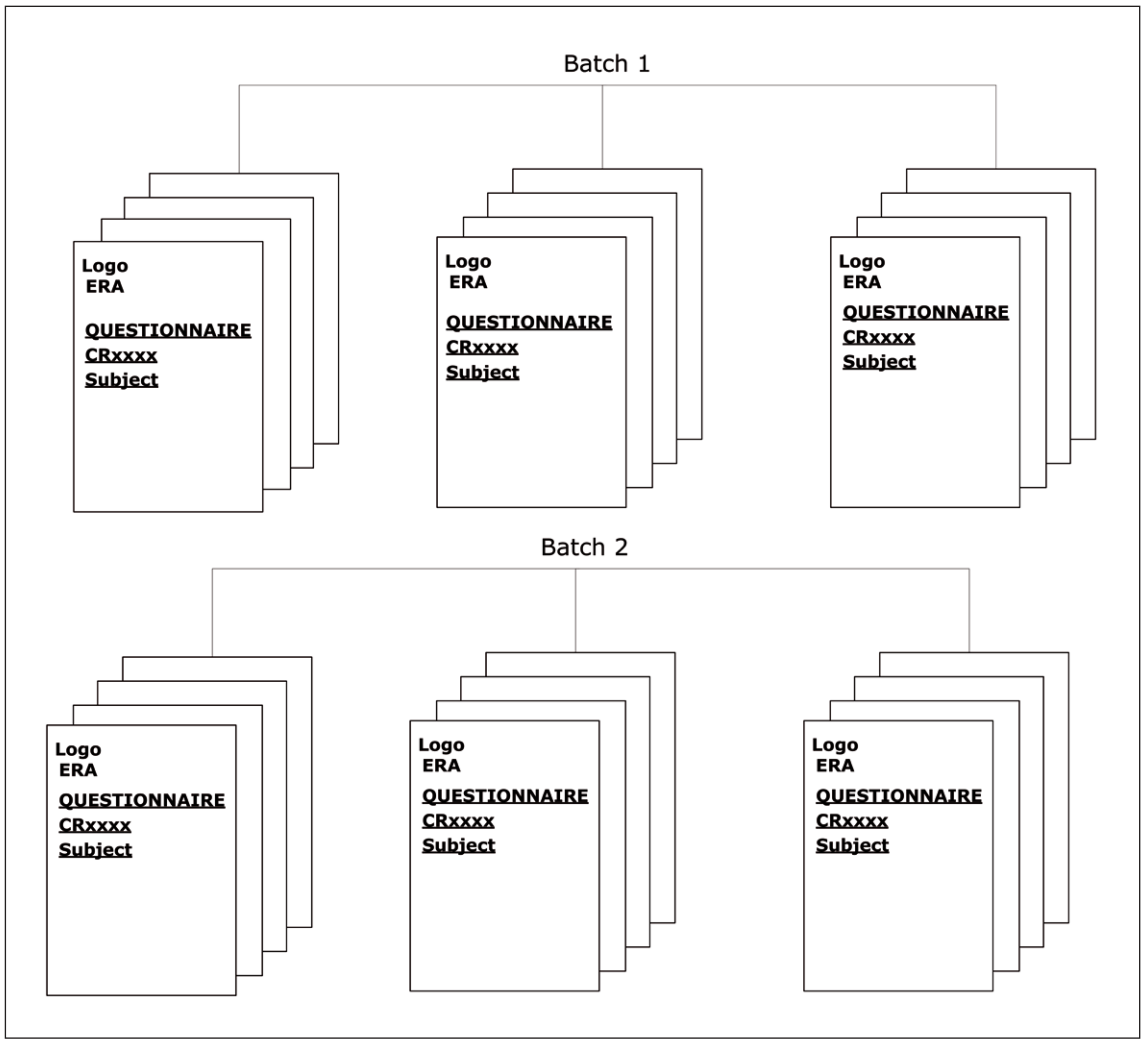


Bild 2: Zuordnung der BCA-Questionnaires zu Batches
Fig. 2: The allocation of BCA questionnaires to batches
Quelle / *Source*: Yadi Han

te durch den jeweiligen Infrastrukturbetreiber (EIU) umgesetzt wurden oder zukünftig umgesetzt werden.

Die Fragestellungen eines BCA-Questionnaire bauen aufeinander auf und betreffen entsprechend dem ursächlichen Fehlerkorrektur-CR unterschiedliche Funktionen des ETCS-Systems. Da einzelne ETCS-Funktionen im Schienennetz der DB InfraGO AG nicht zur Anwendung kommen (z. B. ETCS Level 1 Full Supervision), können die entsprechenden BCA-Questionnaires zu Beginn der Bearbeitung mit der Begründung als „nicht zutreffend" beantwortet werden.

Wurden die gefragten Funktionen bei der DB InfraGO AG umgesetzt, erfolgt die Beantwortung des BCA-Questionnaire gemäß dem folgenden Bearbeitungsprozess, welcher anhand eines fiktiven Beispiels veranschaulicht und erläutert wird.

In einem Szenario, beispielsweise beim Beginn einer Fahrt in ETCS Level 2, können die Voraussetzungen für das Senden von Information 1 und Information 2 durch das ETCS-Fahrzeuggerät an die ETCS-Zentrale gleichzeitig erfüllt sein. In diesem Fall kann es entweder zunächst Information 1 oder Information 2 senden, da im Subset (Europäische ETCS-Systemanforderungsspezifikation) nicht eindeutig vorgegeben ist, welche der beiden Informationen zuerst zu übermitteln ist.

Diese Uneindeutigkeit könnte dazu führen, dass die ETCS-Zentrale nach Erhalt von Information 1 oder Information 2 ein unterschiedliches Verhalten zeigt.

Eine Baseline 3 (BL3) ETCS-Zentrale könnte – abhängig von der implementierten Logik und Projektierung – flexibel auf die Reihenfol-

The questions within a BCA questionnaire partially build on each other and address different ETCS system functions in accordance with the Error Correction CR that describes the causes of the given issues. Since certain ETCS functions have not been applied in the DB InfraGO AG rail network (e.g. ETCS Level Full Supervision), the corresponding BCA questionnaires can initially be answered as "not applicable" with appropriate justification.

If the requested functions have been implemented by DB InfraGO AG, the questionnaire is processed according to the following procedure, which has been illustrated using a hypothetical example.

In a scenario such as the start of mission in ETCS Level 2, the conditions for sending Information 1 and Information 2 from the ETCS onboard unit to the ETCS Radio Block Centre (RBC) may be fulfilled simultaneously. In this case, either Information 1 or Information 2 may be sent first, since the Subset (the European ETCS system requirements specification) does not clearly define which of the two must be transmitted first.

This ambiguity may lead to different behaviour at the RBC depending on whether Information 1 or Information 2 is received first.

A Baseline 3 (BL3) RBC may – depending on its implemented logic and configuration – react flexibly to the order of the incoming information, thereby ensuring compatibility with a BL3 onboard unit.

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

ge der eingehenden Informationen reagieren, sodass die Kompatibilität mit einem BL3-Fahrzeug gegeben ist.
Eine BL2-ETCS-Zentrale kann hingegen erwarten, dass Information 2 vor Information 1 eingeht. Wird diese Reihenfolge nicht eingehalten, könnte die BL2-ETCS-Zentrale das BL3-Fahrzeug ablehnen und würde anschließend den Abbau der Funkverbindung kommandieren, was zu einer Betriebshemmung führen würde.
Auf Grundlage des beschriebenen Szenarios wurde ein Fehlerkorrektur-CR durch die ERA erlassen, der die eingetretenen Vorfälle, die Ursachen und die betreffenden Regeln im Subset beschreibt. Darauf aufbauend wurde ein BCA-Questionnaire zu diesem Sachverhalt erstellt, mit dem die Umsetzung durch das EIU sowie das Verhalten der ETCS-Zentrale abgefragt werden.
Als erster Schritt der Bearbeitung wird durch die ETCS-Fachabteilung geprüft, ob die abgefragte Funktion bei der DB InfraGO AG in den bisherigen Lastenheftreleases (LH-Releases) umgesetzt wurde oder die Umsetzung zukünftig vorgesehen ist. Ergibt die Prüfung in Bezug auf das fiktive Beispiel, dass die abgefragte Funktion bereits umgesetzt ist, sind die Fragen je nach der Umsetzung der betreffenden Regelung(en) zu beantworten. Die Beantwortung erfolgt differenziert gemäß den verschiedenen LH-Releases und wird entsprechend den Spezifikationsgruppen in folgenden Versionen gegliedert (Bild 3):

- Baseline 2 (BL2),
- Baseline 3 Maintenance Release 1 (BL3MR1) sowie
- Baseline 3 Release 2 (BL3R2)

Vor Eintragung einer Antwort wird die Problembeschreibung des Fehlerkorrektur-CR herangezogen, um die Herleitung des Sachverhalts besser nachvollziehen zu können.
Auf dieser Basis beginnt der Bearbeiter des Questionnaire die Beantwortung der Fragen. Dazu erläutert er die jeweilige Umsetzung im

By contrast, a BL2 RBC may expect Information 2 to be received before Information 1. If this sequence is not respected, the BL2 RBC may reject a vehicle fitted with a BL3 onboard unit and command the termination of the radio connection, thereby resulting in operational disruptions.
The ERA has issued an Error Correction CR describing the incidents, their causes and the relevant rules in the Subset based on this scenario. A BCA questionnaire has been created on this basis to assess the implementation by the IM and the behaviour of the RBC.
As a first step, the ETCS specialist department checks whether the requested function has already been implemented in any previous DB InfraGO AG requirement specification releases or whether its implementation has been planned. If, in the fictitious example, the function has already been implemented, the questions are answered depending on how the relevant rules have been applied.
The responses are differentiated according to the various requirement specification releases and structured according to the specification groups in the following versions (fig. 3):

- Baseline 2 (BL2)
- Baseline 3 Maintenance Release 1 (BL3MR1)
- Baseline 3 Release 2 (BL3R2)

Before providing an answer, the problem description of the Error Correction CR is reviewed so as to better understand the origin of the issue.
On this basis, the ETCS specialist begins to answer the questions by describing the implementation in the respective specifications release and indicating the affected lines as well as the number of RBC in operation.
The following fictitious answers could be given for the example described above:

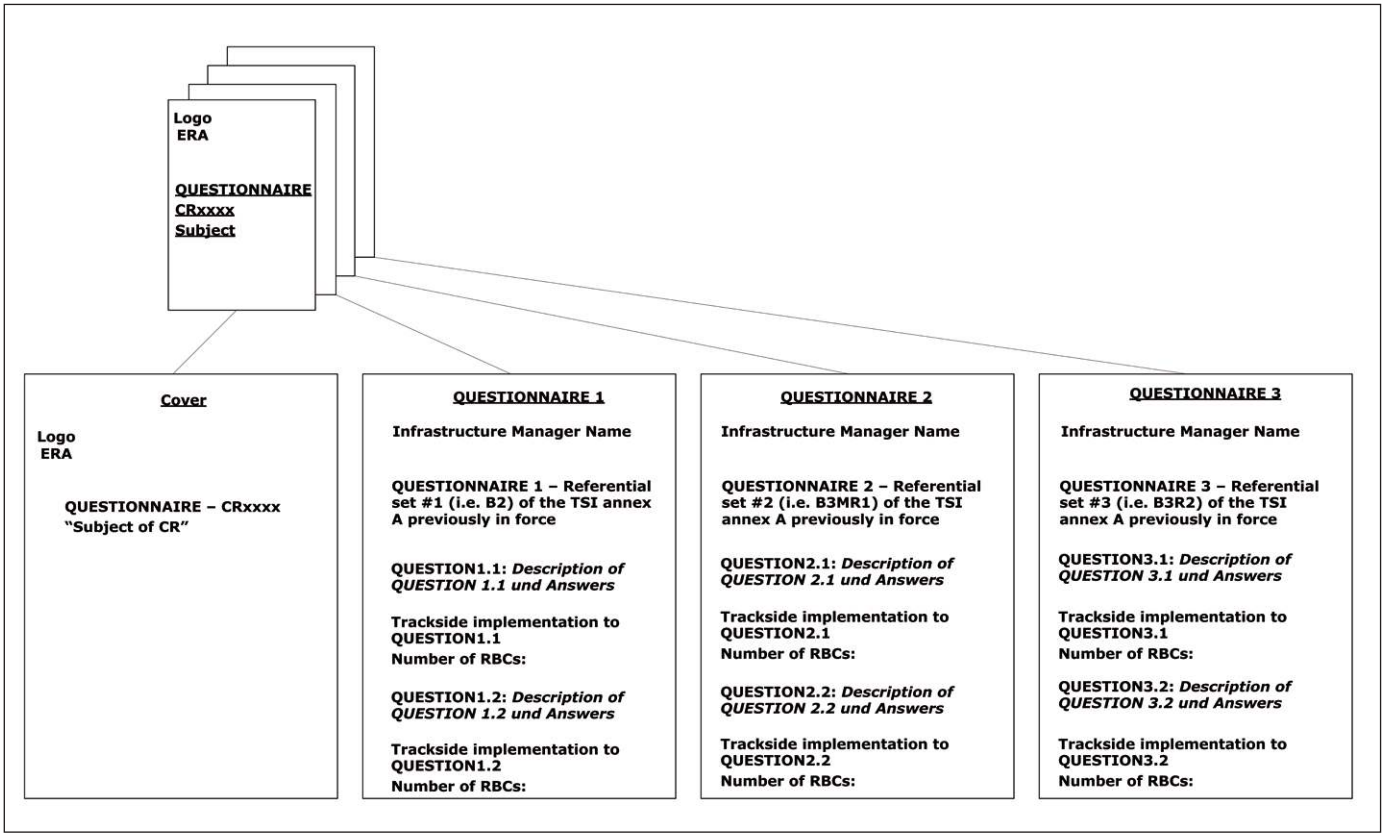


Bild 3: Vereinfachte Darstellung der Struktur eines BCA-Questionnaire
Fig. 3: The simplified BCA questionnaire structure

Quelle / *Source*: Yadi Han

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

entsprechenden LH-Release und gibt die betroffenen Strecken sowie die zugehörige Anzahl der jeweils in Betrieb befindlichen ETCS-Zentralen an.
In Bezug auf die oben genannte beispielhafte Fragestellung wäre die folgende fiktive Beantwortung möglich:

- BL2: Das zur BL2 korrespondierende LH-Release setzt die betreffenden Anforderungen aus dem Subset um. In diesem ist keine konkrete Anforderung enthalten, welche der Informationen 1 und 2 zuerst an die ETCS-Zentrale gesendet werden muss. Im Schienennetz des Betreibers wurde eine Strecke in Betrieb genommen, die gemäß diesem LH-Release ausgerüstet ist. Insgesamt sind zwei ETCS-Zentralen betroffen.
- BL3MR1 und BL3R2: Durch die Fortschreibung des LH-Release gemäß BL3MR1 wurde für das oben beschriebene Beispielszenario eine zusätzliche Anforderung aufgenommen, die implizit davon ausgeht, dass Information 1 vor Information 2 eingeht. Dadurch wurde die Problemstellung jedoch nicht behoben, da das Auftreten des beschriebenen Szenarios davon abhängt, welche Information das ETCS-Fahrzeuggerät zuerst sendet und wie die ETCS-Zentrale auf den Eingang der jeweiligen Information reagiert. Letzteres wurde im LH-Release nicht anforderungsscharf spezifiziert, da es sich hierbei um die Details der Projektierung oder der internen Logik der ETCS-Zentrale handelt. Das gleiche gilt auch für das weitere, gemäß BL3R2, fortgeschriebene LH-Release. Zur Feststellung des Verhaltens der ETCS-Zentrale ist die Weiterleitung der Fragestellung an die Hersteller notwendig.

Hierfür konstruiert der Bearbeiter im Vorfeld ein geeignetes Szenario, in dem der relevante Sachverhalt (z. B. betriebliche Situation, Randbedingungen, Sequenz von Ereignissen) eindeutig und nachvollziehbar beschrieben ist. Dieses Szenario dient als die gemeinsame fachliche Grundlage für die Bewertung durch die Hersteller. Bei Bedarf wird auch das vollständige BCA-Questionnaire an die Hersteller übergeben, sodass die Beantwortung der einzelnen Fragen unter Berücksichtigung der inhaltlichen Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen den Fragen erfolgen kann.
Die Weiterleitung der Fragen bzw. des Questionnaire an die Hersteller erfolgt bei der DB InfraGO AG ausschließlich über das ETCS-Anforderungsmanagement, um eine einheitliche Nachverfolgbarkeit und Dokumentation sicherzustellen.
Nach Eingang der Rückmeldungen der Hersteller sendet das ETCS-Anforderungsmanagement diese an den Bearbeiter zurück, damit er die Rückmeldungen der Hersteller zur vollständigen Beantwortung des Questionnaire aufbereitet. Dabei werden die Antworten der Hersteller entweder zusammengefasst, sofern die Umsetzung aller Hersteller deckungsgleich ist, oder – bei unterschiedlichen Umsetzungen – getrennt nach den einzelnen Herstellern dargestellt.
Wenn die Bearbeitung eines ganzen Batchs abgeschlossen ist, werden die finalisierten BCA-Questionnaires an die ERA übermittelt und beendet damit die Beantwortung bei der DB InfraGO AG.
Wie oben unter „2. Verteilung und Abstimmung“ bereits erwähnt, analysiert die ERA die beantworteten BCA-Questionnaires aller EIU. Das Ergebnis wird anschließend in einem BCA-Report evaluiert.

6 Zusammenfassung

Der Beitrag beschreibt einen ergänzend entwickelten, TSI-konformen Error Correction Process der DB InfraGO AG, der aufgrund unzureichender Konkretisierungen in der TSI ZZS erforderlich wurde. Ziel des Prozesses ist eine systematische Behandlung von Fehlern in ERTMS-/ETCS-Spezifikationen, um Interoperabilität, Sicherheit und einen stabilen Betrieb sicherzustellen. Grundlage bildet das CCM der ERA, die Fehler in den Spezifikationen identifiziert, bewer-

- BL2: The DB InfraGO AG specification release corresponding to BL2 has implemented the relevant requirements from the Subset. However, no explicit requirement has been defined regarding whether Information 1 or Information 2 must be sent first to the RBC. One line in the operator's network has been commissioned based on this specification release. This involves two RBC.
- BL3MR1 and BL3R2: The update of the DB InfraGO AG specification release according to BL3MR1 saw an additional requirement introduced for the scenario described above that implicitly assumes that Information 1 will be received before Information 2. However, this did not resolve the issue, since the occurrence of the scenario depends on which information the onboard unit sends first and how the RBC reacts to it. The latter was not specified in a requirement-based manner in the specification release, as it relates to the configuration or internal logic of the RBC. The same applies to the further updated specification release according to BL3R2. Therefore, determining the behaviour of the RBC requires consultation with the manufacturers.

The ETCS specialist develops a suitable scenario for this purpose in advance that clearly describes the relevant conditions (e.g. the operating situation, boundary conditions, sequence of events). This scenario serves as a common technical basis for the manufacturers' assessment. If necessary, the complete BCA questionnaire is also forwarded to the manufacturers to ensure that the answers consider the interdependencies between the questions.
The forwarding of questions or questionnaires to manufacturers at DB InfraGO AG is handled exclusively via the ETCS requirements management so as to ensure consistent traceability and documentation.
After receiving the manufacturers' feedback, the ETCS requirements management returns it to the ETCS specialist, who incorporates it into the final questionnaire answers. The answers are either consolidated, if all the manufacturers have provided consistent feedback, or presented separately if different implementations exist.
Once an entire batch has been processed, the finalised BCA questionnaires are submitted to the ERA, thereby completing the handling process at DB InfraGO AG.
As mentioned in section "2. Distribution and coordination", the ERA analyses the answers from all the IM. The results are then evaluated in a BCA report.

6 Summary

This article describes a supplementary, TSI-compliant error correction process developed by DB InfraGO AG, which has become necessary due to the insufficient specification detail in the TSI CCS. This process aims to systematically handle any errors in the ERTMS/ETCS specifications in order to ensure interoperability, safety and stable operations.
The process is based on the CCM of the ERA, which identifies, evaluates and distributes specification errors to national sector organisations via BCA questionnaires.
The described process consists of three phases: the identification and evaluation of any detected errors by the ERA, the internal company-wide distribution and response to any BCA questionnaires within DB InfraGO AG and the subsequent evaluation, resolution and documentation thereof. The resulting BCA report serves as a binding basis for further action within the sec-

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

tet und über BCA-Questionnaires an die nationalen Sektororganisationen verteilt.
Der dargestellte Prozess umfasst drei Phasen: Die Identifikation und Bewertung erkannter Fehler durch die ERA, die DB-interne unternehmensweite Verteilung und Beantwortung der BCA-Questionnaires sowie die anschließende Bewertung, Fehlerbehebung und Dokumentation. Der aus der Beantwortung der Questionnaires entstehende BCA-Report dient als verbindliche Grundlage für das weitere Vorgehen im Sektor. Je nach Ergebnis werden Fehler als akzeptabel eingestuft oder es werden infrastrukturseitige bzw. fahrzeugseitige Maßnahmen abgeleitet, die seitens der EIU innerhalb von sechs Monaten entschieden werden müssen. Der Beitrag erläutert darüber hinaus die praktische Anwendung dieses Prozesses, insbesondere die Bearbeitung der BCA-Questionnaires innerhalb der ETCS-Fachabteilung der DB InfraGO AG.
Die Bearbeitung von BCA-Questionnaires erfolgt DB InfraGO AG intern in einem abgestimmten Prozess. Die Beantwortung der Fragen eines BCA-Questionnaires erfolgt entsprechend der Umsetzung des jeweiligen LH-Releases und der zugehörigen Spezifikationsgruppe und nötigenfalls unter Zuhilfenahme der Hersteller gemäß der TSI ZZS. ■

tor. Depending on the outcome, the errors are classified as either acceptable or requiring infrastructure or vehicle-related measures, which must be decided upon by the IM within six months. The article also explains the practical application of this process, particularly the handling of the BCA questionnaires within the ETCS specialist department at DB InfraGO AG.
The processing of BCA questionnaires at DB InfraGO AG follows a coordinated internal process. The answers to the questionnaires are provided in accordance with the implementation status of the given DB InfraGO AG specification release and the corresponding specification group and, if necessary, with the involvement of manufacturers in accordance with the TSI CCS. ■

AUTOREN | AUTHORS

Dipl.-Ing. Manuel Hamm
Systementwicklung zentrale Systeme ETCS /
Development of central ETCS systems
DB InfraGO AG
Anschrift / *Address*: Presselstraße 17, D-70191 Stuttgart
E-Mail: manuel.hamm@deutschebahn.com

Yadi Han M. Sc.
Systementwicklung zentrale Systeme ETCS /
Develpment of central ETCS systems
DB InfraGO AG
Anschrift / *Address*: Schweizer Straße 3b, D-01069 Dresden
E-Mail: yadi.han@deutschebahn.com

Julia Jost
Anforderungs- und Testmanagement ETCS /
ETCS requirements and test management
DB InfraGO AG
Anschrift / *Address*: Adam-Riese-Straße 11-13, D-60327 Frankfurt
E-Mail: julia.jost@deutschebahn.com

Miles Lanzer
Anforderungs- und Testmanagement ETCS /
ETCS requirements and test management
DB InfraGO AG
Anschrift / *Address*: EUREF-Campus 17, D-10829 Berlin
E-Mail: miles.lanzer@deutschebahn.com

LITERATUR | LITERATURE

[1] Greek Rail Regulatory Authority (GRB Rail) – FAQ on Directive (EU) 2016/797 (https://www.grbrail.eu/index.php/faq/cat/6-the-interoperability-directive-eu-2016-797), 09.09.2025 10:00 Uhr
[2] Europäische Kommission – Fourth Railway Package 2016 (technical pillar), (https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/rail/railway-packages/fourth-railway-package-2016_en) 09.09.2025 10:30 Uhr
[3] EUR-Lex – Directive (EU) 2016/797 on the interoperability of the rail system within the European Union, (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32016L0797) 09.09.2025 11:00 Uhr
[4] EBA – Technische Spezifikationen für die Interoperabilität (https://www.eba.bund.de/DE/RechtRegelwerk/TSI/tsi_node.html) 14.10.2025 13:00
[5] Richtlinie (EU) 2016/797 über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems (DE-Fassung): Ziel, grundlegende Anforderungen, Rolle der TSIs. (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/ALL/?uri=CELEX%3A32016L0797) 14.10.2025 13:30 Uhr
[6] ERA – Technical Specifications for Interoperability (TSIs): Zweck und Definition der TSIs zur Sicherstellung der Interoperabilität (https://www.era.europa.eu/domains/technical-specifications-interoperability_en) 14.10.2025 13:00 Uhr
[7] Durchführungsverordnung (EU) 2023/1695 (DE-Fassung): Technische Spezifikation für Interoperabilität für die Teilsysteme „Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung" (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32023R1695) 14.11.2025 13:15 Uhr)
[8] https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/rail/ertms/faq-ertms_en, 14.11.2025 13:15 Uhr
[9] https://www.era.europa.eu/content/change-control-management, 14.11.2025, 13:15 Uhr

© 2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

InnoTrans 2026, 22. – 25. September 2026, Berlin

Internationale Fachmesse für Verkehrstechnik
Innovative Komponenten · Fahrzeuge · Systeme

+++News+++News+++News+++News+++

Das Who-is-Who der internationalen Verkehrsbranche

Die diesjährige InnoTrans eröffnet EU-Kommissar Apostolos Tzitzikostas; 10 bis 11:30 Uhr im palais.Berlin Foto: DVV Media GmbH

Die InnoTrans 2026 setzt zum 30-jährigen Bestehen ein starkes Zeichen für die gesamte Verkehrstechnikbranche: Die Eröffnungsveranstaltung am 22. September im palais.Berlin bringt hochrangige Gäste aus Politik und Industrie zusammen und macht schon zum Auftakt deutlich, welche internationale Bedeutung die Leitmesse hat.
Zur Jubiläumveranstaltung werden unter anderem EU-Kommissar Apostolos Tzitzikostas, Bundesverkehrsminister Patrick Schnieder, DB-Chefin Evelyn Palla, der neue Alstom-CEO Martin Sion sowie Michael Peter von Siemens Mobility und Škoda-CEO Petr Novotny erwartet. Mehr als 1.000 Spitzenvertreterinnen und -vertreter aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik versammeln sich zur Eröffnung und unterstreichen damit den hohen Stellenwert der Messe als Treffpunkt für Entscheider:innen und Impulsgebende.
Die Eröffnung ist nicht nur ein formeller Programmpunkt, sondern ein prominent besetztes Branchenevent mit klarer inhaltlicher Ausrichtung auf globale Mobilität, Wachstum und Zukunftschancen. Unter dem Motto „Mobility on a global scale – Shaping projects and growth opportunities“ wird der Auftakt zu einem sichtbaren Highlight innerhalb des Messeprogramms. •

Bühne frei für die Stimmen der Mobilität

Nach dem großen Erfolg auf der InnoTrans 2024 erwartet die internationale Bahn-Community auch in diesem Messejahr wieder ein Highlight: Am 25. September bringt das Railway Influencer Festival auf der InnoTrans 2026 erneut führende Creator:innen, Mobilitätsexpert:innen und Branchenakteur:innen zusammen. Im Fokus stehen digitale Stimmen, die mit ihren kreativen Ideen und ihrer Reichweite neue Perspektiven auf Bahn, Verkehr und nachhaltige Mobilität eröffnen. Neben der Verleihung des Railway Influencer Award, mit dem eine unabhängige Jury herausragende Beiträge in der Verkehrsbranche würdigt, erwartet die Teilnehmenden ein vielseitiges Programm aus Diskussionen, Showcases und Networking. Das Festival zeigt, wie Social Media, Storytelling und Innovation die Mobilitätsbranche prägen und neue Zielgruppen erreichen. •

Railway Influencer Award Foto: Messe Berlin GmbH

Rundgänge auf der InnoTrans 2026

Die InnoTrans 2026 rückt ihre Weltneuheiten ins Rampenlicht: Bei den täglich stattfindenden World Innovation Tours erleben Fachbesuchende und Journalist:innen die Premieren der Aussteller aus nächster Nähe. Die rund 90-minütigen Rundgänge führen zu zehn Stationen quer über das Messegelände. Hochrangige Unternehmensvertreter:innen präsentieren ihre Innovationen und stehen für Fragen bereit. Internationale Gäste erhalten Simultanübersetzungen ins Englische. Ergänzend gibt es kostenfreie Career Tours und KI-Rundgänge ab dem AI Mobility Lab in Halle 7.1a. •

InnoTrans im Überblick
Fachmesse: 22. – 25. September 2026
Veranstalter und Veranstaltungsort: Messe Berlin GmbH, ExpoCenter City, Messedamm 22, 14055 Berlin
Öffnungszeiten: Fachmesse 9:00 – 18:00 Uhr
Preise: Tagesticket: 65,00 EUR
Dauerticket: 100,00 EUR
Studierendenticket: 30,00 EUR
(nur Online-Tickets, keine Tageskasse vor Ort)
E-Mail: innotrans@messe-berlin.de · **Web:** www.innotrans.de

Eurailpress ist Medienpartner der InnoTrans 2026

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Kurzberichte | Newsflash

DB InfraGO gibt ETCS-only-Strecken bekannt

Bis Ende 2031 will DB InfraGO zwölf Strecken mit insgesamt 750 km Länge neu mit ETCS Level 2 ohne Signale (L2oS) ausstatten. In der Grafik sind die aktuellen und die bis Ende 2031 in Betrieb zu nehmenden ETCS-Strecken (blau = ETCS L2mS, violett = ETCS L2oS, gelb: ETCS L1) dargestellt. Die entsprechenden Pläne hat der Infrastrukturbetreiber am 2. Juli 2026 vor Branchenvertretern vorgestellt.

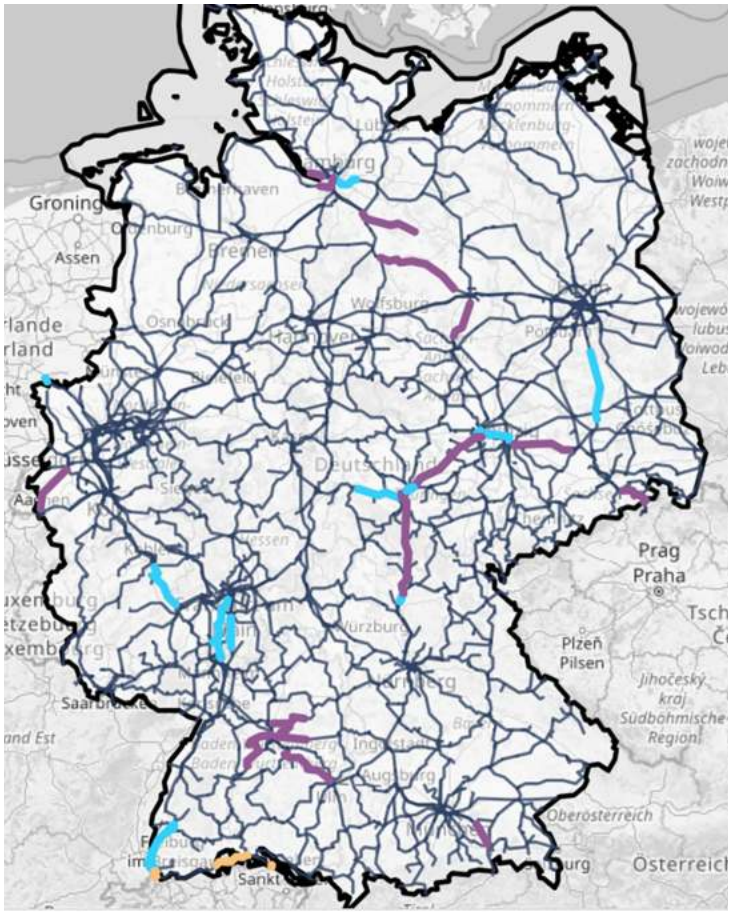
Für sieben der Strecken wird DB InfraGO wegen des geringen Vorlaufs unter der fünfjährigen L2oS-Vorankündigungsfrist die Zustimmung aller voraussichtlich betroffenen Eisenbahnverkehrsunternehmen einzeln einholen. Diese sieben Strecken sind:

- Lüneburg – Dannenberg (bis Ende 2029)
- Hamburg-Hammerbrook – Hamburg-Neugraben (bis Ende 2029)
- Leipzig – Bamberg (Upgrade VDE 8.1/8.2, bis Ende 2030)
- Grenze CZ/D – Schöna – Bad Schandau Ost (bis Ende 2030)
- Wedel – Hamburg-Blankenese – Klein Flottbeck (bis Ende 2030)
- Uelzen – Stendal (bis Ende 2030)
- Stendal – Magdeburg (bis Ende 2030).

Die weiteren fünf, bis Ende 2031 mit ETCS L2oS auszustattenden Strecken können im Regelprozess über die Infrastrukturnutzungsbedingungen (INB) vorangekündigt werden:

- Digitaler Knoten Stuttgart Baustein 3 (DKS 3) mit Planbereich 1 Böblingen und Planbereich 2 Waiblingen (ggf. zu verschieben wegen neuer Terminleiste DKS 1 und 2)
- Kohlscheid – Rheydt
- Bad Schandau Ost – Pirna
- Leipzig – Engelsdorf – Riesa
- München – Rosenheim.

DB-InfraGO-Vorstandsvorsitzender Philipp Nagl kündigte „auch auf Basis der angekündigten Förderrichtlinie für die Fahrzeuge" bis Ende des Jahres eine ETCS-Migrationsstrategie an, „die bis weit in die 2030er-Jahre reicht". **jgf**



Aktuelle und bis 2031 in Betrieb gehende ETCS-Strecken
Current ETCS routes and those due to come into operation by 2031
Quelle / Source: DB InfraGO AG

DB InfraGO announces ETCS-only routes

By the end of 2031, DB InfraGO plans to retrofit twelve routes, totalling 750 km in length, with ETCS Level 2 without signals (L2oS). The chart shows the current ETCS routes and those due to come into operation by the end of 2031 (blue = ETCS L2mS, purple = ETCS L2oS, yellow: ETCS L1). The infrastructure operator presented the relevant plans to industry representatives on 2 July 2026.

For seven of the routes, DB InfraGO will seek the individual consent of all railway undertakings likely to be affected, as the lead time falls short of the five-year L2oS advance notice period. These seven routes are:

- Lüneburg – Dannenberg (by the end of 2029)
- Hamburg-Hammerbrook – Hamburg-Neugraben (by the end of 2029)
- Leipzig – Bamberg (upgrade to VDE 8.1/8.2, by the end of 2030)
- Czech Republic / Germany border – Schöna – Bad Schandau Ost (by the end of 2030)
- Wedel – Hamburg-Blankenese – Klein Flottbeck (by the end of 2030)
- Uelzen – Stendal (by the end of 2030)
- Stendal – Magdeburg (by the end of 2030).

The remaining five lines, which are to be fitted with ETCS L2oS by the end of 2031, can be announced in advance as part of the standard process via the Infrastructure Usage Conditions (INB):

- Stuttgart Digital Hub Module 3 (DKS 3) comprising Planning Area 1 Böblingen and Planning Area 2 Waiblingen (subject to postponement if necessary due to the new timetable for DKS 1 and 2)
- Kohlscheid – Rheydt
- Bad Schandau Ost – Pirna
- Leipzig – Engelsdorf – Riesa
- Munich – Rosenheim.

Philipp Nagl, CEO of DB InfraGO, announced an ETCS migration strategy to be finalised by the end of the year, "based in part on the announced funding guidelines for rolling stock", which "extends well into the 2030s". **jgf**

© 2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

DB: Tiefbahnhof soll Ende 2031 in Betrieb gehen

Aus Stuttgart 21 wird Stuttgart 31. Wie die Deutsche Bahn AG (DB) am 26. Juni 2026 bekanntgab, soll die Inbetriebnahme des unterirdischen Durchgangsbahnhofs erst zum Fahrplanwechsel 2031 erfolgen – größtenteils. Erst 2032 soll der neue Hauptbahnhof vollumfänglich im Netz integriert sein und der bisherige nicht mehr angefahren werden. Per Presseinformation bestätigte die DB die dahingehend kursierenden Gerüchte und stellte einen Eröffnungsplan vor. Dieser enthält außerdem Informationen zu mit dem Bau des Tiefbahnhofs verknüpften Infrastrukturmaßnahmen in Stadt und Umland:

- Dezember 2030: Inbetriebnahme des Fernbahnhofs am Flughafen, zunächst voraussichtlich für Regionalzüge aus und in Richtung Reutlingen, Tübingen und Ulm.
- Dezember 2031: Inbetriebnahme des neuen Hauptbahnhofs in Stuttgart für den Fernverkehr und den Regionalverkehr, bis auf Züge aus und in Richtung Bad Cannstatt, die erst ab 2032 in den Durchgangsbahnhof einfahren. Für diese wird bis Jahresmitte 2032 der alte Kopfbahnhof weiter betrieben. Bereits im Frühjahr 2032 endet die Gäubahn in Stuttgart-Vaihingen, um den neuen Teil der S-Bahn-Stammstrecke an die bestehenden Gleise anschließen zu können.
- Juli 2032: Digitalisierte und verlängerte S-Bahn-Stammstrecke und S-Bahn-Haltestelle Mittnachtstraße / Rosenstein nehmen den Betrieb auf.
- Dezember 2033: Inbetriebnahme des Pfaffensteigtunnels. Der Tunnel schließt die Gäubahn über den Flughafen an die Infrastruktur von Stuttgart 21 an.

In der Presseinformation heißt es weiter, das Pilotprojekt Digitaler Knoten Stuttgart solle weiterhin in allen drei Ausbaustufen realisiert werden. Ursachen für die Verzögerung sind laut einer DB-internen Konzernrevision:

- Die Digitalisierung des Bahnknotens habe sich als deutlich anspruchsvoller erwiesen, als vor einigen Jahren absehbar war.
- Planungsprozesse hätten nicht den erforderlichen Reifegrad erreicht.
- Das Technikgebäude aus dem Jahr 2013 sei nicht mehr passend für den heutigen Bedarf.
- Die Reaktion auf eine Normänderung bei der Stromversorgung sei zu spät erfolgt, was eine vollständige Neuplanung erfordere.

Die durch die Verschiebung entstandenen zusätzlichen Kosten bezifferte die Konzernrevision mit rund 3 Mrd. EUR, was revidierten Gesamtkosten von 14,5 Mrd. EUR entspricht. Darüber zeigte sich Vorstandsvorsitzende Evelyn Palla „erschüttert". Als Konsequenz aus den Erkenntnissen der Revision will DB die Projektorganisation sowohl organisatorisch als auch personell neu aufstellen. „Das neue Management bei S21 hat nun einen Plan erarbeitet, der sich von unrealistischen Prämissen verabschiedet hat", zitierte die Mitteilung Palla. Klaus Müller, seit 1. März 2026 Vorsitzender der Geschäftsführung der DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH, äußerte am 7. Juli 2026 bei LinkedIn, er verstehe den Frust. Wer so lange mit Einschränkungen lebe, erwarte zu Recht Verlässlichkeit. Deshalb habe man den Plan neu aufgesetzt – „mit mehr Realismus, klaren Verantwortlichkeiten und einer Organisation, die auf die Inbetriebnahme ausgerichtet ist". Zugleich bekräftigte er: „Mein Anspruch ist klar: Wir bringen dieses Projekt gemeinsam erfolgreich über die Ziellinie – so, dass sich der Einsatz gelohnt hat." **bm/jsh**

DB: Underground station set to open at the end of 2031

Stuttgart 21 is becoming Stuttgart 31. As Deutsche Bahn AG (DB) announced on 26 June 2026, the underground through station is not due to come into operation until the 2031 timetable change – for the most part. It is not until 2032 that the new main station is due to be fully integrated into the network and the existing station will no longer be served. In a press release, DB confirmed the rumours circulating to this effect and presented an opening schedule. This also contains information on infrastructure measures in the city and surrounding area linked to the construction of the underground station:

- December 2030: Commencement of operations at the long-distance station at the airport, initially expected to serve regional trains to and from Reutlingen, Tübingen and Ulm.
- December 2031: Commencement of operations at the new main station in Stuttgart for long-distance and regional services, with the exception of trains to and from Bad Cannstatt, which will not enter the through station until 2032. For these services, the old terminus station will continue to operate until mid-2032. As early as spring 2032, the Gäubahn will terminate at Stuttgart-Vaihingen to allow the new section of the S-Bahn main line to be connected to the existing tracks.
- July 2032: The digitised and extended S-Bahn main line and the Mittnachtstraße / Rosenstein S-Bahn station commence operations.
- December 2033: The Pfaffensteig Tunnel opens. The tunnel connects the Gäubahn, via the airport, to the Stuttgart 21 infrastructure.

The press release goes on to state that the "Digital Knoten Stuttgart" pilot project is still to be implemented across all three phases of development. According to an internal DB audit, the reasons for the delay are as follows:

- The digitalisation of the rail hub has proved to be significantly more challenging than was foreseeable a few years ago.
- Planning processes had not reached the required level of maturity.
- The technical building dating from 2013 is no longer suitable for today's requirements.
- The response to a change in standards regarding the power supply came too late, necessitating a complete redesign.

The Group Audit department estimated the additional costs arising from the postponement at around EUR 3 billion, corresponding to revised total costs of EUR 14.5 billion. CEO Evelyn Palla said she was "shocked" by this. As a result of the audit's findings, DB intends to restructure the project organisation in terms of both organisation and staffing. "The new management at S21 has now drawn up a plan that moves away from unrealistic assumptions," the statement quoted Palla as saying.

Klaus Müller, Chairman of the Management Board of DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH since 1 March 2026, stated on LinkedIn on 7 July 2026 that he understood the frustration. Anyone who has been living with restrictions for so long is rightly entitled to expect reliability. That is why the plan has been revised – "with greater realism, clear lines of responsibility and an organisation geared towards commissioning". At the same time, he emphasised: "My aim is clear: together, we will successfully bring this project over the finish line – so that the effort has been worthwhile." **bm/jsh**

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

ERTMS-Fahrzeugförderrichtlinie in Kraft getreten

Das Bundesfinanzministerium (BMF), in dem die ERTMS-Fahrzeugförderrichtlinie laut Bundesverkehrsministerium (BMV) bislang festgehangen haben soll, hat diese nun dem Bundestags-Haushaltsausschuss zugeleitet. Einem Mittelentsperrungsantrag des BMF und BMV-Auskünften zufolge sollen bis 2030 rund 1,7 Mrd. EUR und bis 2032 (mindestens) weitere 1,17 Mrd. EUR für die Förderung zur Verfügung stehen. Die Förderrichtlinie entspricht im Grundsatz dem Entwurf, der im Januar 2026 kursierte mit den Fördersätzen von 90 % für First-of-Class-(FoC)-Projekte und 60 % für Serienausrüstungen.

Gegenüber dem damaligen Entwurf aufgehoben wurden einige Beschränkungen, so etwa die 24-Monats-Zeitbegrenzung für FoC-Projekte. Ebenso entfallen die Höchstfördergrenzen bzw. -zeiträume für Werkstattzuführungen oder für die Anmietung von Ersatzfahrzeugen. Praxistauglicher formuliert wurde auch, dass nichtförderfähig nur mehr Fahrzeuge sind, „die nach Inkrafttreten dieser Förderrichtlinie erstmalig eine Genehmigung zum in Verkehr bringen erhalten haben". In der Vorversion waren es Fahrzeuge nach 28. September 2023, dem Inkrafttreten der TSI mit in der Regel ETCS-Pflicht.

Allerdings gab es Bedenken, dass Fahrzeuge etwa aus dort vorgesehenen Übergangsregelungen von der Förderung ausgeschlossen worden wären. Neu ist auch klargestellt, dass förderfähig die „Vorrüstung von FRMCS" (u. a. Einbauraum, Stromversorgung, geplante Masseerhö-

ERTMS rolling stock funding guidelines have come into force

The Federal Ministry of Finance (BMF), where – according to the Federal Ministry of Transport (BMV) – the ERTMS rolling stock funding guidelines had previously been held up, has now forwarded them to the Bundestag's Budget Committee. According to a request from the BMF to release funds and information from the BMV, around EUR 1.7 billion is to be made available for funding by 2030, with a further (at least) EUR 1.17 billion by 2032. The funding guidelines essentially correspond to the draft that circulated in January 2026, with funding rates of 90 % for First-of-Class (FoC) projects and 60 % for series equipment.

Compared with the draft at that time, a number of restrictions have been removed, such as the 24-month time limit for FoC projects. Similarly, the maximum funding limits and time periods for workshop deliveries or the hire of replacement vehicles have been abolished. The wording has also been made more practical, specifying that only vehicles "which have received authorisation to be placed on the market for the first time after this funding guideline comes into force" are ineligible for funding. In the previous version, this applied to vehicles introduced after 28 September 2023, the date on which the TSI came into force, which generally mandates ETCS. However, there were concerns that vehicles covered by transitional arrangements envisaged there, for example, would have been excluded from funding. It has now also been clarified that the "pre-fitting of FRMCS" (including installation space, power supply and planned increase in mass)

100 JAHRE FACHWISSEN
ZU TECHNIK UND MANAGEMENT MODERNER BAHNEN

BEWERBEN SIE IHRE DIENSTLEISTUNGEN ODER PRODUKTE IN DEN RUBRIKEN

- Fahrweg & Bahnbau
- Fahrzeuge & Komponenten
- Ausrüstung & Betrieb
- Projekte & Management
- Forschung & Entwicklung

JETZT BUCHEN

Ihren Firmeneintrag
Präsentieren Sie Ihr Unternehmen

Ihr Businessprofil
Zeigen Sie Ihre Expertise

Ihre Anzeige
Erreichen Sie Ihre Zielgruppe

DVV Media Group

Ihr Ansprechpartner: Tim Feindt ▪ tim.feindt@dvvmedia.com ▪ Telefon +49 40 237 14 220

Eurail press

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

hung) und die „Ausrüstung der ... Funktionen ATO (mind. GoA 2) und FRMCS“ förderfähig ist. Zuvor war nur von „Vorrüstung“ die Rede. Die geplante Laufzeit von fünf Jahren halten Branchen-Digitalisierungsaffine teils für gering, allerdings sind laut Richtlinie auch Förderungen über die Laufzeit hinaus möglich. Am 24.07.2026 ist die Richtlinie schließlich im Bundesanzeiger erschienen. Sie gilt bis 31.12.2030 und das BMF stellt nach Angaben des BMV bis dahin insgesamt 1,7 Mrd. EUR zur Verfügung. **bm/jgf/jsh**

and the “fitting of … ATO functions (at least GoA 2) and FRMCS” are eligible for funding. Previously, only “pre-fitting” had been mentioned. Some industry professionals with an interest in digitalisation consider the planned duration of five years to be short; however, according to the guidelines, funding is also possible beyond this period. On 24 July 2026, the directive was finally published in the Federal Gazette. It remains in force until 31 December 2030 and,and will receive a total of EUR 1.7 billion by then. **bm/jgf/jsh**

EBO erhält rechtliche Voraussetzungen für vollautomatisiertes Fahren

Mit der Zustimmung des Bundesrates vom 10. Juli 2026 ist nun das Infrastruktur-Zukunftsgesetz des Bundes in trockenen Tüchern. Im parlamentarischen Verfahren wurden die schon in vorigen Entwürfen enthaltenen Vorhaben für die Schiene noch um neue Regelungen ergänzt – und auch die rechtlichen Voraussetzungen für vollautomatische Fahrfunktionen in die Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) geschaffen. Dafür wird in der EBO ein neuer § 46 eingefügt, der vorsieht, dass „der Betrieb eines Triebfahrzeugs ... mittels vollautomatisierter Fahrfunktion auf einer hierfür ausgerüsteten Strecke zulässig“ ist, „wenn ... ein Betrieb mit mindestens gleicher Sicherheit [wie bei Beachtung der anerkannten Regeln der Technik] gewährleistet ist“. Gemäß § 18 Abs. 4 EBO kann „Steuerung“ von Triebfahrzeugen dann außer von einem führenden Fahrzeug aus oder durch Fernsteuerung neu auch „durch vollautomatisierte Systeme gemäß § 46“ erfolgen.

Möglich ist damit die vollständige Übernahme der Fahraufgaben „innerhalb des festgelegten Betriebsbereiches“. Bei der Abnahme ist nachzuweisen, „dass die Auswirkungen technischer Störungen oder Fehlhandlungen beherrscht werden und die sichere Betriebsführung jederzeit gewährleistet bleibt“.

Weiter wurde das Infrastruktur-Zukunftsgesetz u. a. ergänzt um:

- Klarstellung der Zuständigkeiten des Eisenbahn-Bundesamtes im Umweltrecht. Verzögernde Unsicherheiten bei bisher unklarer Zuständigkeit zwischen Bund und Ländern sollen so entfallen.
- Ergänzung einer Regelung zur Anerkennung von Prüforganisationen im Bereich der Signal-, Telekommunikations- und Elektronik im Allgemeinen Eisenbahngesetz (AEG). Das soll dem Mangel an Prüfsachverständigen begegnen und so Plan- und Abnahmegenehmigungen beschleunigen.
- Erweiterung der Befreiung von Maßnahmen von Planfeststellung oder Plangenehmigung, u. a. um Leit- und Sicherungstechnik-Anlagen, Kreuzungs- und Überholgleise sowie geringfügige notwendige Gleislageanpassungen. Weiter sind nur „Einzelmaßnahmen“ umfasst.
- Regelung, dass sich die eisenbahnrechtliche Fachplanungshoheit im Sinne des §23 AEG auch auf planrechtsfreie realisierte Maßnahmen erstreckt. Dies soll Diskussionen mit den beteiligten Behörden vor Ort vermeiden.
- Sicherstellung, dass die Erneuerung von Eisenbahnbetriebsanlagen wie schon im Fall einer Naturkatastrophe auch nach einem Extremwetterereignis trotz eines wesentlich geänderten Grund- und Aufrisses planrechtsfrei möglich ist, wenn dies aus Gründen der Resilienz geboten ist, und die Befreiung von der Umweltverträglichkeitsprüfungspflicht bei Wiederaufbau auch nach einem Extremwetterereignis. **jgf**

EBO secures the legal framework for fully automated driving

Following the Bundesrat’s approval on 10 July 2026, the Federal Government’s Infrastructure Future Act is now a done deal. During the parliamentary process, the proposals for the rail sector – which were already included in previous drafts – were supplemented by new regulations, and the legal framework for fully automated driving functions was also established within the Railway Construction and Operating Regulations (EBO). To this end, a new Section 46 is being inserted into the EBO, which stipulates that “the operation of a traction unit … by means of a fully automated driving function on a line equipped for this purpose is permitted”, “provided that … operation with at least the same level of safety [as when complying with recognised technical standards] is guaranteed”. In accordance with Section 18(4) of the EBO, the “control” of traction units may then be carried out not only from a leading vehicle or by remote control, but also, as a new provision, “by fully automated systems in accordance with Section 46”.

This enables the complete takeover of driving tasks “within the specified area of operation”. During the acceptance test, it must be demonstrated “that the effects of technical faults or operator error are controlled and that safe operation is guaranteed at all times”. Furthermore, the Infrastructure Future Act has been amended to include, amongst other things:

- Clarification of the Federal Railway Authority’s responsibilities under environmental law. This is intended to eliminate delays caused by uncertainties arising from previously unclear divisions of responsibility between the federal government and the states.
- The addition of a provision to the General Railway Act (AEG) regarding the recognition of testing organisations in the fields of signalling, telecommunications and electronics. This is intended to address the shortage of testing experts and thus speed up planning and acceptance approvals.
- Extension of the exemption from planning approval or authorisation for certain measures, including signalling and safety systems, crossing and passing tracks, and minor necessary track alignment adjustments. Furthermore, only “individual measures” are covered.
- A provision stipulating that the railway authority’s planning jurisdiction within the meaning of Section 23 of the AEG also extends to measures that have been implemented without requiring planning permission. This is intended to avoid discussions with the relevant local authorities.
- Ensuring that, as is already the case following a natural disaster, the renewal of railway infrastructure following an extreme weather event is possible without the need for planning permission, even where the ground plan and elevation have changed significantly, where this is necessary for reasons of resilience; and ensuring exemption from the requirement for an environmental impact assessment in the event of reconstruction following an extreme weather event. **jgf**

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Daria Menzel übernimmt DB-Stiftungsprofessur

Am 1. Juli 2026 hat Prof. Dr.-Ing. Daria Menzel die Leitung der DB InfraGO Stiftungsprofessur für Digitale Bahnsysteme an der TU Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List" übernommen.

Nach Abschluss ihres Studiums an der staatlichen Moskauer Universität für Verkehrswesen mit dem Schwerpunkt Sicherungstechnik des Schienenverkehrs, der anschließenden Promotion bei Prof. Dr.-Ing. Jochen Trinckauf im Bereich der Bahnsicherungstechnik und einigen Jahren in leitenden Positionen in der Industrie kehrt Daria Menzel nun zurück an ihre Fakultät an der TU Dresden. In ihrer Rolle versteht sie sich als Schnittstelle zwischen Industrie und Forschung, und sie wird daher auch weiterhin beim CERSS Kompetenzzentrum für Bahnsicherungstechnik tätig sein. **jsh**

Prof. Dr.-Ing. Daria Menzel
Prof. Dr.-Ing. Daria Menzel — Quelle / Source: CERSS

Daria Menzel takes up DB Endowed Chair

On 1 July 2026, Prof. Dr.-Ing. Daria Menzel took up the DB InfraGO Endowed Chair for Digital Rail Systems at the Technical University of Dresden, Faculty of Transport Sciences "Friedrich List".

Having completed her studies at the Moscow State University of Transport, specialising in rail safety technology, followed by a PhD under Prof. Dr.-Ing. Jochen Trinckauf in the field of railway safety technology and several years in senior positions in industry, Daria Menzel is now returning to her faculty at TU Dresden. In her role, she sees herself as a link between industry and research, and she will therefore continue to work at the CERSS Centre of Excellence for Railway Safety Technology. **jsh**

quattron und Nextrail verschmolzen

Die Nextrail GmbH, ein 2016 gegründetes Technologieberatungsunternehmen für die Schiene mit Sitz in Berlin, ist im Rahmen einer Verschmelzung auf das Technologieberatungsunternehmen quattron GmbH mit Sitz in Bamberg übertragen worden. Das gaben beide Unternehmen bekannt, ein Eigentümerwechsel ist mit der Transaktion nicht verbunden. Nach vielen Jahren partnerschaftlicher, erfolgreicher Zusammenarbeit wolle man nun „mit der Integration [die] Kompetenzen unter einem einheitlichen Marktauftritt bündeln, um so für unsere Lieferanten ein noch attraktiveres Leistungsportfolio anbieten zu können". Mit der Integration gehen keine Änderungen bei Geschäftsbeziehungen, Verträgen oder Ansprechpartnern einher. Geschäftsführer der quattron GmbH sind nun Andreas Busemann, Thorsten Büker, Robert Schätzle, Johannes Stöcklein (alle vormals quattron) und Michael Leining (vormals Nextrail). **jgf/jsh**

quattron and Nextrail have merged

Nextrail GmbH, a rail technology consultancy founded in 2016 and based in Berlin, has been transferred to the technology consultancy quattron GmbH, based in Bamberg, as part of a merger. Both companies announced this; the transaction does not involve a change of ownership. Following many years of successful partnership and collaboration, the aim is now "to pool our expertise under a unified market presence through this integration, thereby enabling us to offer an even more attractive portfolio of services to our suppliers". The integration will not result in any changes to business relationships, contracts or contact persons. The managing directors of quattron GmbH are now Andreas Busemann, Thorsten Büker, Robert Schätzle, Johannes Stöcklein (all formerly of quattron) and Michael Leining (formerly of Nextrail). **jgf/jsh**

© 2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Wir sind dort, wo Ihre Kunden sind.

Heft **9/26**

30. InnoTrans 2026
22.09. - 25.09.2026, Berlin

Heft **11/26**

120 Jahre SIGNAL+DRAHT - 26. SIGNAL+DRAHT-Kongress
12.11. - 13.11.26, Fulda

Änderungen vorbehalten

Weitere Infos:
Silke Härtel
040/237 14-227
silke.haertel@dvvmedia.com

Impressum | Imprint

SIGNAL+DRAHT
RAIL SIGNALLING & DATACOMMUNICATION

Gegründet im Jahre 1906 und herausgegeben
von DVV Media Group | Eurailpress, Hamburg
Founded in 1906 and published by
DVV Media Group | Eurailpress, Hamburg

Freie Chefredaktion | Advising Chief Editors
Dipl.-Phys. Reinhold Hundt
reinhold.hundt.extern@dvvmedia.com
Ing. August Zierl
august.zierl.extern@dvvmedia.com

Freie Fachredaktion | Advising Specialist Editors
Dipl.-Ing. Roland F. Albert
rf.albert.extern@dvvmedia.com
Ing. Gerhard Haipl
gerhard.haipl.extern@dvvmedia.com

Verlagsredaktion | Staff Editors
Georg Kern
(Chefredakteur/Editor in chief Eurailpress)
Tel. +49 40 23714-144, georg.kern@dvvmedia.com

Dipl.-Journ. (FH) Jennifer Schacha
(Redaktionsleitung / Managing Editor)
Tel. +49 40 23714-281, jennifer.schacha@dvvmedia.com

Verlag | Publisher
DVV Media Group GmbH |
Heidenkampsweg 73–79, D-20097 Hamburg
Tel. +49 40 23714-100 | www.eurailpress.de/sd
Geschäftsführer | CEO: **Martin Weber**
Verlagsleiter | Publishing director: **Manuel Bosch**
Tel.: +49 40 23714-155 | manuel.bosch@dvvmedia.com

Anzeigen | Advertisements
Anzeigenleitung | Advertising mgt. Eurailpress: **Silke Härtel**
Tel.: +49 40 23714-227, silke.haertel@dvvmedia.com
Anzeigenverkauf | Advertising sales: **Silvia Sander**
Tel.: +49 40 23714-171, silvia.sander@dvvmedia.com
Anzeigentechnik | Ad Administration: **Nicole Junge**
Tel.: +49 40 23714-263, nicole.junge@dvvmedia.com

Gültig ist die Anzeigenpreisliste Nr. 59 vom 1. Januar 2026.
The valid advertisements price list is no. 59 of 1 January 2026.

Vertrieb | Distribution
Leiter Marketing & Vertrieb |
Marketing and distribution manager: **Markus Kukuk**
Tel.: +49 40 23714-291 | markus.kukuk@dvvmedia.com
Unternehmenslizenzen Digital / Print |
Enterprise licences digital / print:
lizenzen@dvvmedia.com

Leser- und Abonnenten-Service | Reader and subscriber service
Tel.: +49 40 23714-260
service@dvvmedia.com

Erscheinungsweise | Publication frequency
Monatlich, zwei Doppelhefte im Jan./Feb. und Juli/Aug.
Monthly, two double issues in Jan./Feb. and July/Aug.

Bezugsbedingungen | Subscription conditions
Die Bestellung des Abonnements gilt zunächst für die Dauer des vereinbarten Zeitraumes (Vertragsdauer). Eine Kündigung des Abonnementvertrages ist zum Ende des Berechnungszeitraumes schriftlich möglich. Erfolgt die Kündigung nicht rechtzeitig, verlängert sich der Vertrag und kann dann zum Ende des neuen Berechnungszeitraumes schriftlich gekündigt werden.
Bei Nichtlieferung ohne Verschulden des Verlages, bei Arbeitskampf oder in Fällen höherer Gewalt besteht kein Entschädigungsanspruch. Zustellmängel sind dem Verlag unverzüglich zu melden.
Es ist ausdrücklich untersagt, die Inhalte digital zu vervielfältigen oder an Dritte (auch Mitarbeiter, sofern ohne personenbezogene Nutzerlizenzierung) weiterzugeben.
The order for a subscription is initially valid for the duration of the agreed period of time (duration of contract). It is possible to terminate the subscription contract by giving written notice for the end of the invoicing period. If notice is not given in time, the contract is extended to the end of the new invoicing period, and it is then possible to give notice on it at the end of that period.
There is no right to claim compensation in the event of non-delivery for which the publisher is not to blame, industrial action or force majeure. Any delivery fault must be reported to the publisher immediately.
It is expressly prohibited to make digital copies of the contents or to pass them on to third parties (including employees, unless a personalised user licence has been granted).

Bezugsgebühren | Charges
Abonnement Inland jährlich 296,00 EUR inkl. Porto zzgl. MwSt.
Subscription Domestic EUR 296,00 for one year incl. P&P plus VAT.
Abonnement Ausland jährlich 341,00 EUR inkl. Porto
Abroad with a VAT number EUR 341,00 incl. P&P
Das Abonnement beinhaltet die jeweiligen Ausgaben gedruckt und digital sowie den Zugang zum EurailpressArchiv.
The subscription includes each individual issue in printed, digital forms and also access to the Eurailpress archive.
Einzelheft 34,99 EUR inkl. MwSt. | Single issue 34,99 EUR incl. VAT

Copyright
Vervielfältigungen durch Druck und Schrift sowie auf elektronischem Wege, auch auszugsweise, sind verboten und bedürfen der ausdrücklichen Genehmigung des Verlages. Für unverlangt eingesandte Manuskripte und Abbildungen übernimmt der Verlag keine Haftung.
It is prohibited to make copies in printed, written or digital form in whole or in part except with the publisher's express permission. The publisher accepts no liability for unsolicited manuscripts and illustrations.

Druck | Printing company
Silber Druck GmbH & Co. KG, Lohfelden

INSERENTENVERZEICHNIS | DIRECTORY OF ADVERTISERS

DVV Media Group GmbH, Hamburg	U2, U3, 38, 63, 71, 111, 113, U4
ErvoCom Schweiz AG, Feusisberg	U1, 13
Funkwerk AG, Kölleda	85
Progress Rail Inspection & Informations GmbH, Mannheim	21
Scheidt& Bachmann Signalling Systems GmbH, Mönchengladbach	11

Das Inserentenverzeichnis dient nur zur Orientierung der Leser. Es ist kein Bestandteil des Insertionsauftrages. SIGNAL+DRAHT übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit.
The Directory of Advertisers is provided for the reader's guidance only. It does not form part of the advertising contract. SIGNAL+DRAHT does not guarantee its correctness and completeness.

www.eurailpress.de/sd
ISSN 0037-4997

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

InnoTrans

BESUCHEN SIE UNS AUF DER **INNOTRANS 2026** IN **HALLE 4.2 | STAND 115**

WISSEN, WAS BAHNEN BEWEGT

Attraktive Messeangebote + Gewinnspiel mit hochwertigen Preisen

www.eurailpress.de/innotrans2026

DVV Media Group

Eurail press
EI DER EISENBAHN INGENIEUR
ETR
bahn manager
Rail BUSINESS

©2026 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch ohne Weitergabe ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

DIGITAL

IST EINFACH SCHNELLER

Nutzen Sie Ihre digitalen
SIGNAL+DRAHT-Services
und -Leistungen und lesen Sie bereits
am Vortag die Neuigkeiten von morgen.

JETZT FREISCHALTEN **www.eurailpress.de/sd-digital**

SIGNAL+DRAHT
SIGNALLING & DATACOMMUNICATION