



SIGNAL+DRAHT

SIGNALLING & DATACOMMUNICATION



16 „ETCS-Rollout“ –
Bestandsaufnahme aus Sicht
eines EVU
“ETCS rollout” – an assessment
from the perspective of a
railway undertaking

36 Erfassung von Infrastruktur- und
Umgebungsdaten im
Offenen Digitalen Testfeld
Acquisition of infrastructure
and environmental data in
the Open Digital Test Field

58 ETCS Retrofit – effiziente
Lösungen ohne Einbezug des
Fahrzeugherstellers
ETCS retrofitting – efficient solu-
tions without the involvement
of the vehicle manufacturer



BESUCHEN SIE UNS AUF DER INNOTRANS 2024 IN HALLE 4.2 | STAND 115

WISSEN, WAS BAHNEN BEWEGT



Attraktive
Messeangebote
+
Gewinnspiel mit
hochwertigen
Preisen

www.eurailpress.de/innotrans2024



(C) 2024 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch. Die Weitergabe ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.



Henne und Ei

Der Ausbau des European Train Control System (ETCS) in Deutschland verläuft schleppend. So decken im April 2024 nur zehn Radio Block Center in Deutschland den Betrieb für weniger als 1000 km Strecke ab. Gestern hatten wir uns mit der Finanzierung und dem Ablauf des ETCS-Streckenausbaus auseinandergesetzt. Heute steht die Gestaltung der Fahrzeugausrüstung im Vordergrund der Diskussion. Morgen werden uns die unterschiedlichen Roll-out-Geschwindigkeiten von Strecke und Fahrzeug vor weitere Herausforderungen stellen.

Wie viel Synchronität und Komplexität sind notwendig, wie viel Pragmatismus ist möglich? Die Evolution bietet in diesem Punkt Orientierung. Nur mit einer absoluten Sichtweise auf die Welt stellt sich die Frage, was zuerst da war: Henne oder Ei? Evolutionsbiologisch haben sich Hühner und Huhn parallel in Schritten entwickelt. Die Weiterentwicklung des einen führt zur Anpassung des anderen.

Und diese Chance haben wir auch. Ausgerüstete ETCS-Strecken mit klaren Netznutzungsbedingungen werden die Fahrzeugausrüstung forcieren. Übergangsweise Doppelausrüstungen von Strecken werden die notwendige Zeit für die Angleichung der Ausrüstungszustände geben. Teilintegrierte Fahrzeuggeräte im Übergangszeitraum werden die Umrüstleistung vervielfachen. Technologische Evolution mit migrationsfähiger Abwärtskompatibilität bietet Investitionssicherheit.

Es steht uns gut, das Tempo für den Roll-out mit pragmatischen Lösungen zu erhöhen – so haben wir doch einen gemeinsamen Anspruch an ETCS für Deutschland: Wir wollen und müssen schneller sein als die biologische Evolution.

Chicken and egg

The expansion of the European Train Control System (ETCS) in Germany is progressing slowly. As of April 2024, only ten Radio Block Centers cover operations for less than 1000 kilometers of track in Germany. Yesterday, we discussed the financing of the ETCS trackside rollout. And today, the focus is on rollout of ETCS Onboard units. Tomorrow, the different rollout speeds of track and vehicle will present further challenges.

How much synchronization and complexity are necessary, and how much pragmatism is possible? Evolution provides guidance in this regard. Just as the question of whether the chicken or the egg came first has no clear answer, the development of ETCS infrastructure and onboard equipment must occur in tandem and in smart migration steps.

Equipped ETCS tracks with clear network usage conditions will drive vehicle adaptation. Dual-equipped tracks will allow time during the transition. Partially integrated onboard devices will significantly accelerate retrofitting speed during the transition period. Technological evolution with backward compatibility ensures investment security.

Our goal is to increase the rollout pace through pragmatic solutions—after all, we aspire to be faster than biological evolution when it comes to implementing ETCS in Germany.

Dr. Guido Rumpel, Head of Rail Infrastructure Germany, Siemens Mobility GmbH

Dr. Guido Rumpel, Head of Rail Infrastructure Germany, Siemens Mobility GmbH



Liebe Leserinnen und Leser,
 vom 10. – 12. Juni fand die Jahrestagung 2024 des VDV Verband der Deutschen Verkehrsunternehmen in Düsseldorf statt. Dabei wurde deutlich, dass auch aus Sicht des VDV die umfassende Modernisierung der Leit- und Sicherungstechnik ein Schlüssel für eine durchgreifende Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der Eisenbahnen ist. Zentrale Rollen spielen der Rollout von ETCS und digitalen Stellwerken (DSTW). Der Flächenrollout von ETCS und DSTW beinhaltet jedoch außerordentlich große Herausforderungen. In dieser Ausgabe beleuchten wir die Rollout-Handlungsfelder. Im Sinne einer Bestandsaufnahme wird z.B. beschrieben, in welcher Weise EVU und Fahrzeughalter betroffen sind. Denn es geht nicht nur um die technische Umrüstung der Bestandsfahrzeuge mit ETCS-Bordgeräten, sondern auch um die Ausbildung der Triebfahrzeugführer und die Neuorganisation der Betriebs- und Instandhaltungsreserve für die Umrüstungsphasen bei gleichzeitiger Erfüllung bestehender Verkehrsverträge – eine Herkules-Aufgabe. Leider hat sich die deutsche Politik in Bezug auf eine umfassende Fahrzeugförderung noch nicht eindeutig festgelegt, das wird aber notwendig werden, um einen wettbewerbsfähigen Schienenverkehr sicherzustellen.
 Wir wünschen Ihnen, liebe Leserinnen und Leser, einen wunderbaren Sommer und viele neue und bleibende Erkenntnisse beim Lesen dieser ETCS-orientierten Ausgabe von SIGNAL+DRAHT.

Dear readers,
 the 2024 Annual Conference of the Association of German Transport Companies (VDV) took place in Düsseldorf from 10 to 12 June. It became clear that, from the VDV's point of view, the comprehensive modernisation of control and safety technology is the key to a radical improvement in the competitiveness of the railways. The rollout of ETCS and digital signal boxes (DSTW) plays a central role in this context.
 However, the rollout of ETCS and DSTW across the whole of the sector poses major challenges. In this issue of SIGNAL+DRAHT, we examine the rollout from various perspectives. For example, one article takes stock of the situation and describes how rail transport undertakings and vehicle owners are affected. This is because it is not only about the technical retrofitting of existing vehicles with ETCS on-board equipment, but also about the training of train drivers and the reorganisation of the operating and maintenance arrangements during the retrofitting phases while at the same time fulfilling existing transport contracts – a Herculean task. Unfortunately, German politicians have not yet made a clear commitment to comprehensive vehicle funding, but this will be necessary to ensure competitive rail transport.
 We wish you, dear readers, a wonderful summer and many new and lasting insights as you read this ETCS-focussed issue of SIGNAL+DRAHT.

August Zierl

August Zierl

Reinhold Hundt

Reinhold Hundt

Chefredakteure | Advising Chief Editors



23



36

Internationaler Fachbeirat

Klaus Altehage, Signon Deutschland GmbH, Berlin | **Bernhard Appel**, Ground Transportation Systems Austria GmbH, Wien | **Tilo Brandis**, Pintsch GmbH, Dinslaken | **Dr.-Ing. Thorsten Büker**, VIA Consulting & Development GmbH, Aachen | **Mahir Celik**, safeTrail GmbH, Saarbrücken | **Alessandro Grazia**, Hitachi Rail STS Deutschland GmbH, München | **Radek Dobias**, SN CFL, Luxemburg | **Valentin Doytchev**, Bulgarische Staatsbahnen, NRIC, Sofia | **André Feltz**, DB Systel GmbH, Frankfurt/M. | **Udo Fritsch**, Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V. (VDV), Köln | **Thomas Gehringer**, Eisenbahn-Bundesamt, Bonn | **Reto Germann**, Schweizerische Bundesbahnen (SBB), Bern | **Dr. Carsten Green**, Rail Expert Consult GmbH, Wien | **Aki Härkönen**, Finnish Transport Infrastructure Agency, Helsinki | **Ronald Helder**, ProRail, Utrecht | **Steffen Henning**, Scheidt & Bachmann System Technik GmbH, Kiel | **Andreas Hinterschweiger**, Westermo Data Communications GmbH, Waghäusel | **Dr. István Hrivnák**, Tran-SYS Ltd, Budapest | **Dirk Isola**, ipw Ingenieurgesellschaft, Braunschweig | **Steffen Jurt**, Nextrail GmbH, Berlin | **Johannes Köbler**, Bayerische Kabelwerke AG, Roth | **Branko Korbar**, Kroatische Eisenbahnen (HŽ), Zagreb | **Dr.-Ing. Rolf-Dieter Krächter**, VDB Service GmbH, Berlin | **Johannes Kreinbacher**, Voestalpine Signaling Zeltweg GmbH, Zeltweg | **Andreas Langer**, ICS Informatik Consulting Systems GmbH, Stuttgart | **Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer**, DLR e.V., Institut für Verkehrssystemtechnik, Braunschweig | **Dr.-Ing. Michael Lenders**, Scheidt & Bachmann GmbH, Mönchengladbach | **Helmut Liebming**, Voestalpine Signaling Siershahn GmbH, Siershahn | **Dr.-Ing. Matthias Martin**, Siemens Mobility AG, Wallisellen | **Andreas Medek**, Siemens Mobility Austria GmbH, Wien | **Dr.-Ing. Daria Menzel**, CERRS Kompetenzzentrum Bahnsicherungstechnik GmbH, Dresden | **Dr. Oleg Nasedkin**, Petersburg

© 2024 DVV Media Group GmbH. Ihre Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

- 03** Guido Rumpel
Auf ein Wort: Henne und Ei
Statement: Chicken and egg
- 06** Frank Gülicher | Christoph Theuergarten | Ulrich Kohlenberger
Digitale Schiene Deutschland – Infrastrukturprojekte für eine digitale Zukunft
Digitale Schiene Deutschland – infrastructure projects for the digital future
- 16** Mario Weber | Franz Jost
ETCS-Rollout – Bestandsaufnahme aus Sicht eines Eisenbahnverkehrsunternehmens
ETCS rollout – an assessment from the perspective of a railway undertaking
- 23** Dirk Schattschneider | Frank Kaiser
ETCS – Der Weg von GSM-R zu FRMCS
ETCS – The road from GSM-R to FRMCS
- 30** Alexander Albert | Christof Hoppe | Johannes Lutz | Peter Sassenhagen | Christoph Schütze
Effizienzsteigerung in der Bestandsmodellierung durch Methoden der Künstlichen Intelligenz
Increasing efficiency in as-built modelling using artificial intelligence models
- 36** Maximilian Braun | Alexander Wolf | Benedikt Wenzel | Jonathan Günther
Erfassung von Infrastruktur- und Umgebungsdaten im Offenen Digitalen Testfeld
Acquisition of infrastructure and environmental data in the Open Digital Test Field

Staatl. Universität für Eisenbahnverkehr/Signaltechnik, St. Petersburg | **László Pósalaki**, MÁV ZRt., HU-Budapest | **NN**, European Union Agency for Railways, Valenciennes | **NN**, UIC, Paris | **Michael Osterkamp**, Progress Rail Inspection & Information Systems GmbH, Bad Dürkheim | **PhD. Marek Pawlik**, Railway Research Institute, Warschau | **Frank Peters**, Zöllner Signal GmbH, Kiel | **Marián Roman**, Eisenbahnen der Slowakischen Republik (ŽSR), Bratislava | **Markus F. Rothbauer**, TÜV Süd Schweiz AG, Zürich | **Dr. Guido Rumpel**, Siemens Mobility GmbH, Braunschweig | **Christian Sagmeister**, ÖBB-Infrastruktur AG, Wien | **Christian Schmidt**, Hanning & Kahl GmbH & Co KG, Oerlinghausen | **Prof. Dr.-Ing. habil. Lars Schnieder**, ESE Engineering und Software Entwicklung GmbH, 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 | **Patrick Steinebach**, DB InfraGO AG, Frankfurt/M. | **Miroslav Stojkovic**, Serbische Eisenbahnen (ŽS), Belgrad | **Dr. Timo Strobel**, GTS Ground Transportation Systems Deutschland GmbH, Ditzingen | **Detlev K. Suchanek**, GRT Global Rail Academy and Media GmbH/PMC Media, Hamburg | **Michael Thiel**, Frauscher Sensor Technology Group, St. Marienkirchen | **Péter Tóth**, Prolan Group, Budakalász | **Prof. Dr.-Ing. Jochen Trinckauf**, Technische Universität, Dresden | **Patrick Trost**, Stadler Signalling Germany GmbH, Braunschweig | **Laurenz Trunner**, EBE Solutions, Wiener Neudorf | **Torsten Vogel**, PSI Transcom GmbH, Berlin | **Bernhard Wahl**, Obermeyer Infrastruktur GmbH & Co. KG, Köln | **Christian Weiß**, Dr. techn. Josef Zelisko Fabrik für Elektrotechnik und Maschinenbau Gesellschaft m.b.H., Mödling | **Peter Wigger**, TÜV Rheinland InterTraffic GmbH, Köln | **Anton Zahner**, HIMA Paul Hildebrandt GmbH, Brühl

- 44** Michael Roth | Judith Heusel | Keivan Kiyanfar | Sebastian Ohrendorf-Weiss | Andreas Wenz | Paulo Mendes | Nikolas Dütsch | Alice Martin
On-board-Fahrzeugortung mit GNSS und digitalen Karten im Projekt EGNSS MATE
On-board vehicle localisation with GNSS and map data in the EGNSS MATE project
- 51** Johannes Häring | Tobias Wothge | Richard Poschinger | Ernst Kleine | Johannes Küber
ETCS PKI PoC – Testumgebung für alle betrieblichen Varianten einer europäischen PKI-Infrastruktur
ETCS PKI PoC – a test environment for all the operating variants of a European PKI infrastructure
- 58** Bernd Göbbel
ETCS Retrofit von Bestandsfahrzeugen – effiziente Lösungen ohne Einbezug des Fahrzeugherstellers
ETCS retrofitting of existing rolling stock – efficient solutions without the involvement of the vehicle manufacturer
- 63** Udo Rabeneck | Nicolas Wagner | Jan Wiese | Daniel Engelhardt
ETCS- und LZB80E-Nachrüstung von Bestandsfahrzeugen – die Lokomotive BR101
ETCS and LZB80E retrofits on existing vehicles – the Class 101 locomotive
- 70** Kurzberichte | Newsflash
EurailJobs
- 74** Impressum | Imprint



Titelbild / Cover

ETCS wirkt sich nicht nur auf den reinen Bahnbetrieb aus, wie diese Ausgabe zeigt. ETCS not only has an impact on pure railway operations, as this issue shows.

Quelle / source: DB AG / M. Lautenschläger



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.

ETCS-Rollout – Bestandsaufnahme aus Sicht eines Eisenbahnverkehrsunternehmens

ETCS rollout – an assessment from the perspective of a railway undertaking

Mario Weber | Franz Jost

Mit der Veröffentlichung der ETCS-Migrationsstrategie (ETCS, European Train Control System) ist für die Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) eine Abschätzung der vom ETCS-Rollout betroffenen Linien und Fahrzeuge erforderlich, um auf die sich zukünftig ändernden Netzzugangskriterien einzugehen. Aus Sicht der DB Regio AG (DB Regio) als einem der größten Fahrzeughalter im Nahverkehr wird die aktuelle Ausgangslage eingeordnet und werden deren Auswirkungen dargestellt. Neben der eigentlichen Umrüstung der Fahrzeuge müssen dabei zusätzliche Aspekte wie bspw. Personalqualifizierung, Finanzierung der Umrüstung oder Umrüstkapazitäten mit betrachtet werden.

1 Einleitung

Mit der flächendeckenden Digitalisierung des Streckennetzes in Deutschland durch die DB InfraGO AG (DB InfraGO) wird eine Erhöhung der Streckenkapazitäten bei einem stabileren, kostengünstigeren Betrieb erwartet. Die auf dem Streckennetz agierenden EVU bzw. Fahrzeughalter sind dadurch in verschiedenster Weise betroffen und müssen frühzeitig reagieren.

Abhängig von den Eigentumsverhältnissen der Fahrzeuge, vertraglicher Leistungsverpflichtungen der EVU gegenüber Dritten sowie organisatorischer Begleitung durch das eigene Unternehmen muss stets ein wirtschaftlicher Betrieb gewährleistet werden. Diese äußeren Rahmenbedingungen müssen durch entsprechende Maßnahmen innerhalb des EVU adressiert werden – eine bloße Ausrüstung der Fahrzeugflotte mit ETCS bzw. im weiteren Sinne dem European Rail Traffic Management System (ERTMS) ist somit nicht alleinig ausreichend.

In diesem Beitrag soll ein detaillierter Blick auf die Herausforderungen, Risiken und Auswirkungen der Digitalisierung, im Detail des ETCS-Rollouts in Deutschland, aus Sicht eines EVU geworfen werden.

2 Ausgangslage

2.1 Zielbild Infrastruktur

Aufbauend auf der Machbarkeitsstudie von McKinsey im Jahre 2018 [1] mit einer netzbezirkweisen Ausrüstung erfolgte im Juli 2023 die Veröffentlichung einer angepassten ETCS-Migrationsstrategie [2] durch die DB Netz AG (Aktualisierung im November 2023) mit einer Vorausschau von fünf Jahren, in welcher dargestellt wird, welche Streckenteile bezogen auf die Streckennummer zu welchem Zeitpunkt von einer Aus- bzw. Umrüstung der Zugbeeinflussungstechnik bzw. der Digitalisierung betroffen sind.

The publication of the European Train Control System (ETCS) migration strategy has led to the need for railway undertakings (RU) to assess the tracks and rolling stock that will be affected by the introduction of ETCS so as to be able to react to any future changes in the network access criteria. The current situation has been analysed from the point of view of DB Regio AG (DB Regio), one of the largest owners of rolling stock in regional transport, and its implications have been presented. In addition to the actual retrofitting of the rolling stock, other aspects such as personnel qualifications, the financing of retrofitting or retrofitting capacities must also be considered.

1 Introduction

The nationwide digitalisation of the railway network in Germany by DB InfraGO AG (DB InfraGO) is expected to lead to an increase in capacity with more stable and cost-effective operations. RU and rolling stock owners operating on the rail network will be affected in various ways and will need to react early.

Cost-effective operations must always be guaranteed depending on the ownership structure of rolling stock, the contractual obligations of the RU towards any third parties and the organisational processes within the company. These external conditions need to be addressed by means of appropriate measures within the RU: simply equipping the fleet with ETCS or, more broadly, European Rail Traffic Management System (ERTMS) is not enough.

This article takes a closer look at the challenges, risks and effects of digitalisation, in particular the introduction of ETCS in Germany, from the perspective of an RU.

2 The current situation

2.1 The infrastructure target image

Based on the 2018 feasibility study carried out by McKinsey [1] in which each network district was digitalised separately, DB Netz AG published an adapted ETCS migration strategy [2] in July 2023 (updated in November 2023) with a five-year forecast showing which track sections will be affected by an upgrade/change of the train control system or digitalisation with respect to the track number and the commissioning date. ETCS is being installed with ETCS level 2 in Germany according to the target image established by Digitale Schiene Deutschland (DSD, Digital Rail for Germany). A distinc-

ETCS wird in Deutschland nach dem Zielbild der Digitalen Schiene Deutschlands (DSD) in der Ausbaustufe Level 2 errichtet. Dabei unterschieden wird die Ausrüstung mit (L2mS) und ohne Signale (L2oS). Strecken mit ETCS L2mS werden in Doppelausrüstung mit der heute verwendeten Punktuellen Zugbeeinflussung (PZB) errichtet. Eine Doppelausrüstung mit Linienförmiger Zugbeeinflussung (LZB) ist nicht vorgesehen, sondern soll letztere perspektivisch ersetzen.

Der Fokus der Umrüstung liegt auf hochausgelasteten Achsen und Knoten. Mit der Migrationsstrategie setzt die DB InfraGO auch Ausbauverpflichtungen im europäischen Rahmen um. Hervorzuheben ist der ScanMed-Korridor als ein Teil des Transeuropäischen Netzes (TEN, Transeuropaen Network), welcher primär mit ETCS L2oS ausgerüstet werden soll.

Neben dem Streckenabschnitt und Datum der Inbetriebnahme von ETCS (L2mS/L2oS) sind folgende Informationen zusätzlich relevant: PZB/LZB-Außerbetriebnahme sowie Inbetriebnahmen von Future Railway Communication System (FRMCS) und Automatic Train Operation (ATO). Wenn von einem ETCS-Rollout gesprochen wird, so sind diese zusätzlichen Ausbauten im Kontext ERTMS genauso zu berücksichtigen.

Die Informationen werden als HTML-Karte sowie als Tabelle mit den betroffenen Streckenkilometern zur Verfügung gestellt. Hierbei ist zu beachten, dass die Karte lediglich informativ ist und stets die Angaben der Tabelle verbindlich zu berücksichtigen sind. Alle hinterlegten Ausrüstungsprojekte sind vorbehaltlich der Finanzierung zu verstehen. Die Umsetzung der Streckenübergänge/Transition zur Schieneninfrastruktur im Eigentum Dritter ist derzeit nicht ersichtlich.

Mit der Veröffentlichung des durch die Europäische Union geforderten National Implementation Plans (NIP) zum 15. Juni 2024 wird eine Fortschreibung des ETCS-Rollouts über den Fünfjahreshorizont der bereits veröffentlichten Strategie erwartet [3].

2.2 Zielbild Fahrzeugausrüstung

Die fahrzeugseitig notwendige Technik wird maßgeblich von der Infrastruktur vorgegeben. Im Zielbild der DSD wird von ERTMS mittels ETCS und FRMCS sowie ATO gesprochen [4].

Erste Umrüstungen mit ETCS und ATO erfolgten bei der S-Bahn Hamburg. Perspektivisch geht mit dem Digitalen Knoten Stuttgart (DKS) als Pilotprojekt erstmals ein großes Ballungszentrum mit ETCS L2oS in Betrieb. Dazu rüstet die S-Bahn Stuttgart ihre Fahrzeugflotte stufenweise mit einer DSD-Fahrzeugausrüstung aus, die mit Inbetriebnahme des DKS im Regelbetrieb eingesetzt werden soll.

Eine verbindliche Fahrzeugausrüstung über ETCS und weitere Komponenten ist noch nicht abschließend geklärt. Lediglich aus den Anforderungen der Infrastruktur können Aussagen zur Ausrüstung der zukünftig verkehrenden Fahrzeuge getroffen werden. Der perspektivische Ausrüstungszustand (vgl. DSD-Fahrzeugausrüstung) sollte jedoch bereits bei der Ausrüstung mit ETCS berücksichtigt werden [5]. Neben ETCS wird vor allem der neue Funkstandard FRMCS Einzug halten. Spätere Erweiterungen sind ATO und Train Integrity Monitoring (TIMS).

Das betrieblich technische Zielbild beschreibt das integrierte System aus Infrastruktur, Fahrzeug und Betrieb, was nur als Gesamtkonzept Kapazitätseffekte heben kann. Die derzeitige Finanzierung lässt jedoch einen Großteil der bestehenden Fahrzeugflotte außen vor und konzentriert sich hauptsächlich auf die Infrastruktur. Um dem zu begegnen, wurden durch die Bundesrepublik Deutschland ca. 300 Mio. EUR für ein First-of-Class-Sofortprogramm (First-of-Class, FoC, erstes Prototypenfahrzeug einer Baureihe) im Bundeshaushalt 2024/25 berücksichtigt, welches dem Sektor die notwendigen Mit-

tion ist made between equipping ETCS with (L2mS) and without signals (L2oS). Tracks equipped with ETCS L2mS will be equipped in parallel with the currently used point train control (PZB). Dual equipment with continuous train control (LZB) is not planned, as this is intended to be replaced with ETCS in the future.

The upgrade focuses on heavily used tracks and nodes. DB InfraGO is also meeting the track retrofitting obligations within the European Union with this migration strategy. The ScanMed corridor is to be equipped primarily with ETCS L2oS as part of the Trans-European Network (TEN).

In addition to the track section and the ETCS commissioning date (L2mS/L2oS), the following information is also of importance: the decommissioning of the PZB/LZB and the commissioning of the Future Railway Communication System (FRMCS) and Automatic Train Operation (ATO). If ETCS is to be introduced, these additional upgrades will also have to be considered within the context of ERTMS.

The information is provided in the form of an HTML map and a table of the affected track kilometres. It should be noted that the map is for information purposes only and that the information in the table is binding. All the listed projects are still subject to funding. The implementation of level crossings/transitions to rail infrastructure owned by any third parties is currently not apparent.

The publication of the National Implementation Plan (NIP) required by the European Union on 15 June 2024 means that the publication of ETCS commissioning dates is expected to continue beyond the five-year horizon of the previously published strategy [3].

2.2 The vehicle equipment target image

The technology required on the rolling stock side is mainly determined by the infrastructure requirements. The DSD target image refers to ERTMS with ETCS and FRMCS as well as ATO [4].

The first retrofits with ETCS and ATO have been carried out on the Hamburg S-Bahn. In the future, the Digitaler Knoten Stuttgart (DKS, Stuttgart Digital Node) will be the first large conurbation centre to go into operation with ETCS L2oS as a pilot project. S-Bahn Stuttgart is gradually equipping its fleet with DSD vehicle equipment, which will be used in regular operations when the DKS goes into operation.

No binding specification for the mandatory equipment on rolling stock with ETCS and other components has yet been finalised. It is only possible to make a statement about the future rolling stock equipment based on the infrastructure requirements. However, the future equipment status (cf. the DSD vehicle equipment) should already have been considered when equipping vehicles with ETCS. In addition to ETCS, the new FRMCS radio standard will also be introduced. Later extensions will include ATO and Train Integrity Monitoring (TIMS).

The operational target image describes the system of infrastructure, rolling stock and operations that can only achieve any capacity effects as an integrated concept. Current funding, however, has ignored a large part of the existing vehicle fleet and focused mainly on the infrastructure. To remedy this, the Federal Republic of Germany has allocated around EUR 300 million in its 2024/25 federal budget for a first-of-class immediate program (FoC, the first prototype vehicle of a series), which will provide the sector with the necessary funds

tel zur initialen Umrüstung von derzeit zehn Baureihen zur Verfügung stellt. Hierzu soll eine koordinierende Stelle eingerichtet werden, die diese Mittel verwalten und gemäß der kommenden Förderrichtlinie verteilen soll.

2.3 Normative Rahmenbedingungen

Mit der Aus- bzw. Umrüstung der Fahrzeuge ist die jeweils anzuwendende TSI Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung (TSI ZZS) zu berücksichtigen. Mit der Aktualisierung im September 2023 ist ATO Grade of Automation (GoA) 1/2 als Erweiterung des ETCS-Modus Full Supervision umgesetzt. Der noch zu standardisierende Zugfunk FRMCS wird neben GSM-R vorbereitend aufgenommen. Gerade die Umrüstung und Zulassung von Bestandsfahrzeugen unter den zum Zeitpunkt der Umrüstung geltenden normativen und gesetzlichen Anforderungen stellen eine große Herausforderung dar.

2.4 Organisation des SPNV in Deutschland

Der SPNV wird im Gegensatz zum Fernverkehr in Deutschland durch die Aufgabenträger der jeweiligen Bundesländer finanziert. Der Aufgabenträger schreibt die Nahverkehrsnetze öffentlich aus und wählt aus den bewerbenden EVU das wirtschaftlichste Angebot für den Betrieb aus. Mit den EVU wird ein sogenannter Verkehrsleistungsvertrag geschlossen, der neben der Erbringung der eigentlichen Verkehrsleistung auch die Pönalisierung der nicht vertragsgemäßen Durchführung regelt (Zugausfälle, Nichtverfügbarkeit Toiletten, falsches Rollmaterial: Sitzplätze, WLAN, ...).

In einigen Bundesländern ist man dazu übergegangen, die Fahrzeuge als Land selbst zu finanzieren bzw. zu beschaffen, um so Betreibern ohne eigene Fahrzeuge die Teilnahme an einer Ausschreibung zu ermöglichen. Die Fahrzeuginstandhaltung erfolgt entweder unter Regie des Betreibers oder aber auch durch Dritte.

2.5 Einschätzung

Von der ETCS-Migration verspricht sich die DB InfraGO eine Konsolidierung der bisher verschiedenen Zugbeeinflussungstechniken bei zusätzlich höherer Trassenkapazität und Betriebssicherheit. Dies senkt die infrastrukturseitigen Kosten, da ein großer Teil der Zugbeeinflussungstechnik auf das Fahrzeug verlagert wird. Im Zielzustand (deutschlandweite Vollausrüstung ETCS L2oS) fällt der hauptsächliche Nutzen bei den Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) an. Beim EVU verbleibt dagegen ein nicht unerheblicher Kostenteil durch die ETCS-Fahrzeugausrüstung, die das EVU ggf. lediglich durch Energieeinsparungen mittels ATO oder durch dynamische Trassenpreise geringfügig gegenkompensieren könnte und damit erst zukünftig einen Nutzen erhält – daher ist eine auskömmliche Förderung der Fahrzeugausrüstung essenziell [vgl. 6].

In der Übergangsphase mit Teilausrüstungen im Netz sinkt zunächst die Betriebsqualität, da Alternativrouten (Parallelstrecken) im Falle von betrieblichen Umleitungen (Kapazität, Baustellen, Unfällen) nicht genutzt werden können, insofern das Fahrzeug nicht über ETCS verfügt, die Strecke aber bereits mit L2oS umgerüstet wurde. Als relevante Netzzugangskriterien und Betriebsgrundlage sind zukünftig vor allem ETCS L2oS und FRMCS und perspektivisch ATO zu betrachten.

Die bisher ausgebliebene verbindliche Festlegung der Fahrzeugausrüstung stellt Betreiber von Bestandsfahrzeugen vor eine große Herausforderung, insofern eine Umrüstung mit ETCS relevant wird. Ein vorausschauender Einbau weiterer Systeme (FRMCS, ATO) ist schwer umsetzbar, eine spätere erneute Umrüstung eigenwirtschaftlich nicht darstellbar.

Nur durch eine gezielte Förderung der Umrüstung von FoC- und Serienfahrzeugen kann die Verkehrsleistung aufrechterhalten werden.

for the initial retrofitting of currently ten classes. A coordinating body will be set up to manage these funds and distribute them in accordance with the forthcoming funding guideline.

2.3 The normative framework

The applicable Control, Command and Signalling TSI (CCS TSI) is to be taken into account when upgrading or retrofitting rolling stock. The update in September 2023 will see ATO Grade of Automation (GoA) 1/2 implemented as an extension of the ETCS Full Supervision mode. FRMCS train radio, which has yet to be standardised, will be included in addition to GSM-R. The retrofitting and certification of existing rolling stock according to the normative and legal requirements in force at the time of the retrofitting constitutes a major challenge.

2.4 The organisation of regional passenger rail transport in Germany

In contrast to long-distance transport, regional rail transport in Germany is financed by public authorities from the respective federal states. The public transport authority puts the local transport networks out to public tender and selects the most economical offer for operations from the RUs' bids. A so-called transportation contract is concluded with the RU, which regulates the sanctions for any non-contractual performance (train cancellations, the unavailability of toilets, incorrect rolling stock, seat configurations, Wi-Fi, etc.) in addition to the provision of the actual transportation service.

Some federal states have started financing or procuring vehicles themselves in order to enable operators without their own vehicles to participate in tenders. Vehicle maintenance is carried out either by the operator or by third parties.

2.5 Assessment

DB InfraGO expects the ETCS migration to consolidate the various, currently used train control technologies, while at the same time increasing track capacity and operating safety. This will reduce the infrastructure-related costs, as a large part of the train control technology will be moved onto the vehicle. According to the target image (a nationwide ETCS L2oS retrofit in Germany), the main benefits will be felt by the railway infrastructure undertakings (RIU). However, a not inconsiderable part of the costs for the ETCS on-board equipment will remain with the RU. They may only be able to offset these costs to a limited extent through the energy savings achieved by ATO or through dynamic route pricing, meaning that any benefit will only be felt in the future [cf. 6].

The quality of service will initially be reduced in the transitional phase with partial equipment on the network, as alternative routes (parallel routes) cannot be used in the event of any operational diversions (capacity, road works, accidents) if the vehicle has not been equipped with ETCS, but the track section has already been retrofitted with L2oS. In the future, ETCS L2oS, FRMCS and, in the long term, ATO will be the relevant criteria for network access and will form the operating basis.

The lack of a binding specification for rolling stock equipment will constitute a major challenge for the operators of existing rolling stock when retrofitting with ETCS becomes relevant. The proactive installation of additional systems (FRMCS, ATO) is challenging and subsequent retrofitting is not economically viable.

It is only possible to maintain the current transport service by means of targeted subsidies for the retrofitting of FoC and se-

Die aktuell bekannte Förderung der derzeit zehn Baureihen wird nicht ausreichend sein, den Bedarf abzudecken, ist jedoch als erster positiver Ansatz zu werten.

3 Herausforderungen an das EVU

Durch die Angabe geplanter ETCS L2oS-Strecken ist das EVU mit den bekannten Linienverläufen der Verkehrsverträge in der Lage, die dort betroffenen Fahrzeuge zu identifizieren bzw. dies für zukünftige Ausschreibungen zu berücksichtigen. Insbesondere mit Blick auf zukünftige Netze wird das Thema FRMCS zusätzlich relevant. Erschwerend kommt hinzu, dass die derzeitige Vorausschau der ETCS-Migrationsstrategie von nur fünf Jahren für EVU bezüglich aktuell laufender Ausschreibungen und Umbauplanungen definitiv nicht ausreichend ist, da Verkehrsverträge meist deutlich längere Laufzeiten aufweisen.

Bei den vertraglichen Verpflichtungen können zwei Fälle unterschieden werden: Wird eine Umrüstung in einem zukünftigen Verkehrsvertrag relevant, so kann dies frühzeitig über den Aufgabenträger bzw. die Ausschreibung berücksichtigt werden. Das EVU ist hier in der Lage, die Ausrüstungskosten durch ETCS in der Kalkulation mit zu berücksichtigen, sofern die Ausstattungsparameter bezüglich ERTMS klar für das jeweilige Liniennetz/Fahrzeug definiert sind.

Der wesentlich komplexere Fall ist die Betroffenheit eines bereits laufenden Vertrages. Bei durchschnittlichen Laufzeiten von über zehn Jahren betrifft dies nach heutigem Stand bereits einige Verträge. Hier kommen auf das EVU nun zusätzliche, vorher nicht einkalkulierte Kosten zu. Diese zum damaligen Ausschreibungszeitpunkt nicht vorhersehbaren Kosten bedürfen einer Diskussion bzw. Klärung mit dem jeweiligen Auftraggeber.

Durch die fehlenden Vorgaben der Aufgabenträger als auch der Unverbindlichkeit der DSD-Fahrzeugausrüstung wurden Neufahrzeuge teilweise noch ohne ETCS beschafft. In einigen Fällen ist zwar eine Vorrüstung vorgesehen, die heute nur zum Teil von Nutzen ist und verwendet werden kann; ein späterer Umbau mit Neuzulassung wird dennoch notwendig.

Somit können selbst für einen Vertrag neu beschaffte Fahrzeuge innerhalb der ersten Einsatzjahre von einer Umrüstung betroffen sein. Generell ist eine Neubeschaffung mit ETCS wesentlich kostengünstiger als die nachträgliche Umrüstung.

Der einfachere Ansatz, dem ETCS-Rollout fahrzeugseitig mit dem reinen Einsatz von Neufahrzeugen mit ETCS zu begegnen, stellt die Herstellerindustrie vor eine große Herausforderung. In dem Maße Neufahrzeuge auszuliefern, um die Altfahrzeuge frühzeitig – ggf. vor Abschreibungsende – abzulösen und zusätzlich weitere Kapazitäten auf das Netz zu bringen, sind schwer umsetzbar. Der „mehr Verkehr auf der Schiene“ ist volkswirtschaftlich, sinnvoll und nachhaltig, nur durch den Wiedereinsatz von Gebrauchtfahrzeugen auch in zukünftigen Verträgen umsetzbar.

Das EVU muss sich also innerhalb der Grenzen des Spannungsfeldes Netzzugangskriterien vs. mangelnde Förderung der Umrüstung vs. lange Umbauzeiten vs. Vorgaben Aufgabenträger bewegen und dabei stets wirtschaftlich arbeiten.

3.1 Nebeneffekte der ETCS-Umrüstung

Neben der eigentlichen Umrüstung des FoC-Fahrzeugs und den Serienfahrzeugen sind weitere Maßnahmen des EVU notwendig. Die Triebfahrzeugführer (Tf) müssen u.a. für neue Betriebsverfahren als auch für die geänderte Fahrzeugbedienung qualifiziert werden, gleichfalls wird die Anpassung bzw. die Erstellung neuer Richtlinien erforderlich (z. B. Ril 400, Ril 483). Für die Instandhaltung muss

ries vehicles. The current subsidy for the ten first-of-class vehicles will not be sufficient to meet demand, but can be seen as a first positive approach.

3 The challenges for the RU

The RU can use the information concerning any future planned ETCS L2oS tracks to identify the vehicles affected by its transportation contract routes and take this into account for any future tenders. The topic of FRMCS will become even more relevant when looking at future networks. To make matters worse, the current ETCS migration strategy forecast of only five years is definitely insufficient for RU with regard to current tenders and conversion plans, as transportation contracts usually have much longer durations.

Two cases can be distinguished in terms of contractual obligations: if retrofitting becomes relevant in a future transportation contract, this can be considered at an early stage by the public transport authority or in the tender. In this case, the RU can include the costs for any ETCS equipment in the cost calculation, provided the ERTMS equipment specifications have been clearly defined for the given network/vehicle.

It is much more complex when a contract that is already in service is affected. Given an average duration of more than ten years, this already applies to several contracts. The RU is now faced with additional costs that were not previously taken into account. These costs, which could not have been foreseen at the time of the tender, need to be discussed and clarified with the transport authority.

The lack of specifications from the transport authorities and the non-binding nature of the DSD vehicle equipment mean that some new vehicles have been procured without ETCS. In some cases, pre-equipping is planned, which is only partially useful as a subsequent retrofit with new equipment and certification is still necessary.

This means that even vehicles that are newly procured for a contract may have to be retrofitted within the first few years of operation. In general, procurement with ETCS is much more cost-effective than retrofitting.

The simpler approach of facing the ETCS rollout on the rolling stock side purely using new vehicles with ETCS presents the manufacturing industry with a major challenge. It is difficult to deliver new rolling stock on such a large scale to replace old rolling stock at an early stage, possibly before the end of their amortisation period, and to provide additional capacity in the network. From an economic, reasonable and sustainable point of view, “more transport by rail” in future contracts can only be achieved through the reutilisation of existing rolling stock.

The RU must therefore work within the conflicting areas of network access criteria vs the lack of funds for retrofitting vs long retrofitting times vs the requirements of the authorities, while at the same time always working economically.

3.1 The side effects of ETCS retrofitting

In addition to the retrofitting of the FoC and the following series vehicles, further actions by the RU are also necessary. Train drivers need to be qualified for the new operating procedures as well as for the modified vehicle operating mode and new guidelines need to be adapted or created (e.g. Ril 400, Ril 483). Workshop personnel must be trained and qualified in the use of additional technology for maintenance and the workshops must be equipped accordingly.

Werkstattpersonal im Umgang mit zusätzlicher Technik geschult sowie qualifiziert und müssen die Werkstätten entsprechend ausgerüstet werden.

Durch die einhergehende Digitalisierung im Bahnwesen aufgrund ETCS muss auch das Thema Cybersecurity intensiver als bisher bedacht werden (Cybersecurity-Officer).

Da voraussichtlich nicht jeder Arbeitsschritt der Instandhaltung in jedem Werk gleichermaßen verfügbar ist, sind heute schon Überführungsfahrten der Fahrzeuge an verschiedene Werkstandorte notwendig. Der voranschreitende Ausbau von L2oS-Strecken führt damit potenziell zu Umfahrungen von L2oS-Strecken mit nicht ETCS-fähigen Fahrzeugen. Im gravierenderen Fall werden Werkstätten durch die Streckenausrüstung L2oS von der Anfahrt durch nicht-ETCS-Fahrzeugen abgeschnitten.

Die alternative Zuführung z. B. durch Schleppparks sind mit höherem Aufwand und Kosten verbunden (Trassen, Fahrzeug, Personal).

Mit der Qualifizierung des Personals und der damit verbundenen steigenden Entlohnung und den aufwendigeren Überführungsfahrten werden somit die verkehrsvertraglichen Kosten für das EVU und letztendlich für den Aufgabenträger zusätzlich steigen.

4 Umrüstung

Während im Fernverkehr (SPFV), der heute schon Strecken mit ETCS L2oS befährt, bereits der Großteil der Fahrzeuge über eine ETCS-Ausrüstung verfügt, zeichnet sich im Nahverkehr (SPNV) ein gegenteiliges Bild: Nur wenige heute in Verträgen gebundene Fahrzeuge besitzen eine ETCS-Ausrüstung.

4.1 Zeitliche Rahmenbedingungen

Für das FoC-Fahrzeug wird mit einem Zeitraum von ca. zwischen zwölf und 18 Monaten zzgl. Wiederzulassung bis zum Wiedereinsatz gerechnet. Während dieser Zeit steht das Fahrzeug nicht für den Einsatz im Verkehrsvertrag zur Verfügung. Sollen komplexere Funktionalitäten wie Doppel- bzw. Mehrfachtraktion oder Varianten innerhalb der Baureihe zugelassen werden, so ist ggf. eine weitere Entnahme von FoC-Fahrzeugen aus dem laufenden Betrieb notwendig (vgl. [7]). Nach Vorliegen der FoC-Fahrzeugzulassung können die Serienfahrzeuge mit einer Conformity-To-Type (CTT) in kurzer Zeit (geplant ca. vier Wochen) ebenfalls umgerüstet und zugelassen werden. Diese Fahrzeuge müssen ebenfalls aus dem laufenden Betrieb entnommen werden.

Im Rahmen des DKS wurden erste Erfahrungen bei der Koordination und Durchführung der Umrüstung von Fahrzeugen gesammelt [7]. Mit der koordinierenden Stelle für die Fahrzeugumrüstung können ggf. über Rahmenverträge mit den Herstellern geeignete Konditionen zur Umrüstung ausgehandelt werden. Die eigene Mitwirkung seitens des EVU bzgl. Dokumentation und Zulassung muss dennoch stattfinden und wird zusätzliche Ressourcen binden.

4.2 Serienumrüstung

Die Serienumrüstung stellt die Werke und Schienenfahrzeughersteller vor zusätzliche Herausforderungen. Neben den für die ohnehin anfallenden Wartungs- und Instandhaltungsleistungen müssen zusätzliche Arbeitsstände und geeignetes Personal vorgehalten werden. Eine weitere Herausforderung besteht in der Bereitstellung der benötigten Komponenten und Materialien in ausreichender Menge zum jeweiligen Zeitpunkt (Stichwort: Chip-/Komponentenkrise). Bezüglich der Zulassung müssen, um die kurzen Umbauzeiten einhalten zu können, entsprechende Ressourcen seitens der Gutachter, Eisenbahn-Bundesamt (EBA) bzw. European Rail Agency (ERA) bereitstehen.

The ongoing digitalisation in the railway sector due to ETCS also means that the issue of cybersecurity will have to be taken into account more intensively than in the past (a cybersecurity officer).

As not every maintenance step is likely to be equally available in every workshop, it may prove necessary to transfer vehicles to different workshop locations. The ongoing expansion of L2oS routes may therefore lead to the circumvention of L2oS routes with non-ETCS-capable vehicles. In a more serious case, access to workshops will be cut off for non-ETCS vehicles as a result of the ongoing L2oS track retrofit.

Alternative methods of bringing vehicles to workshops, e.g. using locomotives, are associated with higher efforts and costs (track usage costs, rolling stock, personnel). Transportation contract costs for the RU and ultimately for the public transport authority will also increase with the qualification of personnel and the associated increase in wages and more complex transfer routes.

4 Retrofitting

While the majority of vehicles in the long-distance transport sector, which is already operating on tracks with ETCS L2oS, have already been equipped with ETCS, the opposite is true for the local transport sector: only a few vehicles that are currently subject to transportation contracts have been equipped with ETCS.

4.1 The timeframe

The FoC vehicle is expected to take between twelve and 18 months plus recertification before it is ready to be used again. During this time the vehicle will be unavailable for service under the contract. If more complex functionalities such as double or multiple traction or variants within the series are to be certified, a further withdrawal of the FoC vehicles from service may be necessary (see [7]).

Once the FoC vehicles have been certified, the series vehicles can also be converted and certified with a Conformity-To-Type (CTT) within a short time (planned approx. four weeks). These vehicles will also have to be taken out of service.

Initial experience in coordinating and carrying out the retrofitting of vehicles has been gained as part of the DKS [7].

Suitable retrofitting conditions can be negotiated by the coordinating body via framework agreements with manufacturers. However, the RU itself must be involved in the documentation and approval process, which then ties up additional resources.

4.2 Series conversion

Series retrofitting presents an additional challenge for rolling stock manufacturers and rolling stock operators. In addition to the maintenance and repair work that must be carried out anyway, additional workstations and suitable personnel must also be made available. A further challenge involves the provision of the required components and materials in sufficient quantities at the right time (keyword: chip/component crisis). With regard to the certification process, appropriate resources must be available from the experts, the Federal Railway Authority (EBA) and the European Railway Agency (ERA), in order to enable the short retrofitting times to be met.

In addition to the resources, the number of vehicles available for retrofitting that can be simultaneously taken out of service also has a further influence on the duration of the series retrofitting.

Einen weiteren Einfluss auf die (Dauer der) Serienumrüstung hat neben den Ressourcen die für den Umbau jeweils zur Verfügung stehende Fahrzeuganzahl, die dem Betrieb gleichzeitig entzogen werden kann.

4.3 Ersatzflotte

Die während der Umbauzeiträume für FoC und Serie fehlenden Fahrzeuge können durch eine Ersatzflotte ersetzt werden. Die Ersatzflotte sollte idealerweise die vom Vertrag geforderten Leistungen vollständig abdecken. Ist dies nicht gegeben, muss mit dem Aufgabenträger gemeinsam geprüft werden, ob und wie für den Umbauzeitraum von gewissen vertraglichen Forderungen abgewichen werden kann.

5 Auswirkungen auf DB Regio AG

Die DB Regio ist in Deutschland mit eines der asset-intensivsten EVU und durch die Vielzahl an Verträgen auch in großem Maße bzgl. seiner Bestandsfahrzeugflotte vom ETCS-Rollout betroffen. Durch die regional unterschiedliche Betroffenheit und die sich ändernden Randbedingungen ist es für die DB Regio wichtig, alle Einflüsse früh zu identifizieren und dementsprechend zu adressieren. Eine verlässliche und verbindliche Entscheidungsgrundlage seitens DB InfraGO ist entscheidend.

Die Umrüstung der Bestandsflotte stellt eine große Herausforderung dar, da der prognostizierte Vorlauf für die Umrüsttätigkeiten der Fahrzeuge betroffen durch eine ETCS-L2oS-Streckenausrüstung mehr als fünf Jahre beträgt. Die Vorausschau seitens DB InfraGO ist aus Sicht eines EVU zu kurz angesetzt, um die notwendigen Prozesse rechtzeitig zu beginnen.

Aus der Migrationsstrategie kann abgeleitet werden, dass ein Großteil der umzurüstenden Fahrzeuge im Jahr 2029 ff. anfallen wird. Für diese kurzfristige Umrüstung großer Mengen an Fahrzeugen muss eine ausreichende Anzahl an Umrüstkapazitäten (Arbeitsstände, Fertigungsstunden) zur Verfügung stehen, die nach der Umrüstung der notwendigen Bestandsfahrzeuge sinnvoll anderweitig nutzbar gemacht werden muss. Ein Aufbau dieser Kapazitäten wäre sonst nicht attraktiv.

Eine erste Betrachtung betroffener Verträge zeigte, dass über die vorhandene Betriebs- bzw. Instandhaltungsreserve nicht die not-

4.3 The replacement fleet

The vehicles that are unavailable during the FoC and series conversion periods can be substituted with a replacement fleet of vehicles. Ideally, the replacement fleet should fully cover the contractual obligations. If this is not the case, it will be necessary to work with the transport authority to determine whether and how certain contractual requirements can be deviated from during the conversion period.

5 The impact on DB Regio AG

DB Regio is one of the most asset-intensive RU in Germany for local transport and, given its large number of contracts, it is also strongly affected by the introduction of ETCS with regard to its existing fleet of rolling stock. The varying regional impacts and changing external conditions mean that it is important for DB Regio to identify all the influences at an early stage and to address them accordingly. A reliable and binding basis for the decision-making by DB InfraGO is crucial.

Retrofitting an existing fleet is a major challenge, as the forecast lead time for retrofitting the given vehicles with ETCS L2oS track equipment is more than five years. From the point of view of an RU, the DB InfraGO forecast is too short to start the necessary processes in time.

It can be deduced from the migration strategy that the majority of vehicles to be retrofitted will be in service from 2029 onwards. Sufficient retrofitting capacity (workshops, production hours) must be available for this short-term retrofitting of large numbers of vehicles and must then be transferred to other uses once the existing necessary vehicles have been retrofitted. Otherwise, it would not be economically viable to build up this capacity.

An initial analysis of the affected contracts showed that the required number of vehicles could not be taken out of the contracts utilising the existing operating and maintenance reserve vehicles without having to restrict the transport service. The replacement fleet approach therefore makes sense and opens up new degrees of freedom. Suitable replacement ve-

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.



DSTW
DIGITALISIERUNG
MOBILITÄT

ZUKUNFTSTECHNOLOGIE
AUTOMATISIERUNG

ILBS
ETCS
KÜNSTLICHE INTELLEKTUELLE

wendige Menge an Fahrzeuge aus Verträgen gelöst werden kann, ohne das Angebot einzuschränken. Der Ansatz einer Ersatzflotte ist daher sinnvoll und eröffnet neue Freiheitsgrade. Durch entsprechende Ersatzfahrzeuge können aus dem laufenden Betrieb auch mehrere Fahrzeuge gleichzeitig herausgelöst werden und ermöglichen so eine schnellere Umrüstung größerer Flotten – sofern die Umrüstkapazitäten ausreichend vorhanden sind. Die betroffenen Rollen der Umrüstungsprozesse reichen von der Begleitung der Umrüstung über den ECM, den Fahrzeughalter und Eigentümer, den Betrieb, die Disposition bis hin zum Flotten- und Verkehrsvertrags-/Angebotsmanagement.

Nur durch eine sinnvolle Verknüpfung aller Informationsquellen ist es möglich, eine durchgehende Beherrschbarkeit der Umrüstung und Digitalisierung im Sektor herzustellen. Dies gilt ebenfalls für die internen Prozesse der Betreiber. Zusätzlich müssen alle relevanten Stellen die notwendigen Kapazitäten, Kommunikationskanäle und Prozesse zeitnah zur Verfügung stellen. Die sukzessive Weiterveröffentlichung und Aktualisierung der Streckenausrüstungen durch die DB InfraGO erfordert es, schnell auf neue Randbedingungen einzugehen, um die Umrüstentscheidung und -planung optimal durchzuführen. Nur eine verlässliche, verbindliche Entscheidungsgrundlage (Fahrzeugausrüstung, Streckenausrüstung) und deren gesicherte Finanzierung kann eine rechtzeitige Fahrzeugverfügbarkeit vor Inbetriebnahme neuer Streckenausrüstung sicherstellen.

6 Zusammenfassung

Nach der Darstellung der aktuellen Ausgangslage, der Randbedingungen seitens Infrastruktur und Fahrzeugausrüstung, wurden die Auswirkungen des ETCS-Rollouts auf ein EVU im SPNV beleuchtet. Neben der eigentlichen Umrüstung der Fahrzeuge kommen auf das EVU weitere Aufwände – über einen längeren Zeitraum – zum bisherigen Tagesgeschäft hinzu. Der zeitgemäße Umgang mit sich stetig ändernden Informationen erfordert es, die Digitalisierung auch im Betrieb zu integrieren, um schnell auf eine neue Sachlage reagieren zu können. Nur mit verbindlichen Vorgaben zur Fahrzeugausrüstung und Finanzierung kann die Umrüstung der notwendigen Bestandsfahrzeuge zur Deckung des steigenden Verkehrsbedarfes auf der Schiene rechtzeitig angestoßen werden. ■

LITERATUR | LITERATURE

- [1] McKinsey & Company, Machbarkeitsstudie zum Rollout von ETCS/DSTW – Zusammenfassung der Ergebnisse, Dezember 2018
- [2] <https://www.dbinfrago.com/web/schiennetz/etcs/etcs-migrationsstrategie-11089586>, 03.04.2024 um 09:12
- [3] Europäische Kommission, Durchführungsverordnung (EU) 2023/1695, 10.08.2023
- [4] Fiack, A.; Weller, F.; Heimes, M.; Laux, T.: Digitale Schiene Deutschland – Zukunftstechnologien für das Bahnsystem, Eisenbahningenieur Kompendium 2024
- [5] Bührsch, P.; Büker, T.; Schotten, S.; Hardel, S.: Vorteile und Nutzen von ETCS L2oS und DSTW im Schienenverkehr, Eisenbahningenieur Kompendium 2022
- [6] Reinhart, P.: Viel mehr Kapazität mit ETCS (& Co.) – aber wie? Aktuelle Erkenntnisse aus dem Digitalen Knoten Stuttgart, Scientific Railway Signaling Symposium 2023 (Tagungsband), 14.06.2023
- [7] Dietrich, F.; Molterer, L.; Philippsen, F.; Reinhart, P.; Schunke-Mau, C.; Vogel, T.; Wester-Ebbinghaus, H.: Digitaler Knoten Stuttgart: Förderung der DSD-Fahrzeugausrüstung, DER EISENBAHNINGENIEUR 04/2023

hicles enable several vehicles to be taken out of service at the same time, thereby allowing larger fleets to be converted more quickly – provided sufficient conversion capacity is available. The roles involved in the conversion processes range from conversion support, ECM, vehicle operator and owner, operations and scheduling to fleet and transportation contract/off-fer management.

Only by linking all the sources of information in a meaningful way will it be possible to establish end-to-end controllability of the retrofitting and digitalisation in the sector. This also applies to operators' internal processes. In addition, all the relevant bodies must also provide the necessary capacities, communication channels and processes in a timely manner. The successive publication and updating of trackside equipment by DB InfraGO makes it necessary to react quickly to any new conditions in order to optimise the retrofitting decisions and planning. Only a reliable and binding basis for decision-making (vehicle equipment, trackside equipment) and its proper financing can ensure that the rolling stock is available in time before the new trackside equipment is commissioned.

6 Summary

The impact of the introduction of ETCS on an RU in regional rail transport has been analysed after first describing the current situation and the constraints in terms of the infrastructure and rolling stock. In addition to the actual retrofitting of the rolling stock, the RU will also have to cope with further costs – over a longer period of time – over and above its current daily operations. The modern approach to handling constantly changing information requires the digitalisation to be integrated into operations so as to be able to react quickly to any new situations.

The retrofitting of existing necessary rolling stock to meet the growing demand for rail transport can only be implemented in good time with binding specifications for vehicle equipment and financing. ■

AUTOREN | AUTHORS

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Mario Weber
Referent ETCS-Rollout / *ETCS rollout consultant*
DB Regio AG
Anschrift / Address: Eisenbahnstraße 42, D-73207 Plochingen
E-Mail: mario.mo.weber@deutschebahn.com

Dr.-Ing. Franz Jost
Systemingenieur / *System Engineer*
Nextrail GmbH
Anschrift / Address: Schaumainkai 91, D-60596 Frankfurt am Main
E-Mail: franz.jost@nextrail.com

ETCS – Der Weg von GSM-R zu FRMCS

ETCS – The road from GSM-R to FRMCS

Dirk Schattschneider | Frank Kaiser

ERTMS als europäisches Eisenbahnverkehrsleitsystem besteht aus zwei Elementen, dem Zugsicherungssystem ETCS (European Train Control System) und dem Übertragungssystem GSM-R (Global System for Mobile Communications – Rail(way)). GSM-R ist ein standardisiertes digitales Mobilfunksystem der zweiten Generation, das die Zug-Land-Verbindung etabliert. Das Europäische Zugkontrollsystem ETCS ist ein standardisiertes und europaweit einheitliches Zugsicherungssystem, das mit Level 2 eine mobilfunkbasierte Kommunikation zwischen den Zügen und der streckenseitigen ETCS-Ausrüstung nutzt. ETCS ermöglicht die grenzüberschreitende und nahtlose Kontrolle der Zugbewegungen innerhalb festgelegter Geschwindigkeits- und Abstandsparameter. Damit trägt ETCS dazu bei, die Sicherheit im Bahnbetrieb zu erhöhen, indem menschliche Einflussfaktoren minimiert werden. Die steigenden Anforderungen an die bahnbetriebliche Kommunikation und der damit notwendige Übergang zu einer breitbandigen und paketvermittelten Datenübertragung führen zur Weiterentwicklung des Übertragungssystems von GSM-R hin zu einem 5G System. Mit dem Wechsel des Funksystems steht das ETCS-Onboard-System vor neuen Herausforderungen. Die Einführung des Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) als leistungsfähiges und langfristig verfügbares Mobilfunksystem wird in Zukunft die Rolle von GSM-R übernehmen.

1 Was ist ETCS

Als Zugsicherungssystem ist ETCS für die sichere Bewegung des Fahrzeugs auf der Strecke verantwortlich. Neben der freigegebenen Fahrstrecke und der jeweiligen Maximalgeschwindigkeit werden weitere Zusatzinformationen wie beispielsweise Tunnel, Brücken und Lücken in der Funkversorgung übertragen. Basierend auf diesen Angaben sowie den Eigenschaften des Fahrzeugs (Länge, Gewicht, Bremskraft etc.) berechnet ETCS die maximale Geschwindigkeit des Fahrzeugs inkl. der notwendigen Bremskurven. Das berechnete Geschwindigkeitsprofil wird dem Triebfahrzeugführer kontinuierlich angezeigt.

Ort und Geschwindigkeit werden während der gesamten Zugfahrt vom Fahrzeug sicher ermittelt. Über Balisen, eine „Funkbake“ zur Übertragung kurzer Informationen, synchronisiert das Fahrzeug immer wieder den angenommenen/sicheren Standort mit dem realen Aufenthaltsort. Stellt ETCS eine Überschreitung des errechneten Geschwindigkeitsprofils fest, erfolgt nach einer optischen und akustischen Warnung zunächst die Sperrung des Antriebs und, falls nicht ausreichend, die Bremsung des Fahrzeugs. Damit werden eine überhöhte Geschwindigkeit des Fahrzeugs wie auch das Verlassen des vom Radio Block Centre (RBC) freigegebenen Streckenabschnitts verhindert.

Im einfachsten Fall werden Streckeninformationen über die schon für die Positionierung genutzten Balisen übertragen (ETCS, Level 1), die hierzu über die an der Strecke befindlichen Signale oder direkt vom RBC angesteuert werden. Auf komplexeren Strecken und zur Reduzierung der streckenseitigen Infrastruktur erfolgt die Übertragung per Funk (ETCS, Level 2) via GSM-R. Für diese Übertragung sind nur relativ geringe Datenraten notwendig, deutlich unter 1kbit/s, die aber mit ex-

As a European rail traffic management system, ERTMS consists of two elements; the European Train Control System (ETCS) and the GSM-R (Global System for Mobile Communications – Rail(way)) transmission system. GSM-R is a standardised, 2nd generation digital mobile radio system that establishes the train-to-land connection. ETCS is a standardised, Europe-wide uniform train control system that uses radio-based, Level 2 mobile communication between trains and the trackside ETCS equipment. ETCS enables the seamless cross-border control of train movements within defined speed and distance parameters. In this way, it helps increase safety in rail operations by minimising human factors. The increasing demands on railroad communications and the necessary transition to broadband and packet-switched data transmission are leading to the further development of the transmission system from GSM-R to a 5G system. The change in the radio system means that the ETCS onboard system is likewise facing new challenges. The introduction of the Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) as a powerful and long-term available mobile radio system will take over the role of GSM-R in the future.

1 What is ETCS

As a train control system, ETCS is responsible for the safe movement of the vehicles on a route. In addition to the approved route and the given maximum speed, further additional information, such as tunnels, bridges and gaps in radio coverage, is transmitted. ETCS calculates the vehicle's maximum speed, including the necessary braking curves, based on this information and the vehicle's characteristics (length, weight, braking force, etc.). The calculated speed profile is displayed to the driver continuously.

The vehicle reliably determines the location and speed throughout the entire train journey. It constantly synchronises its assumed / safe location with its actual location using balises, a “radio beacon” for transmitting brief pieces of information.

If ETCS detects that the calculated speed profile has been exceeded, the drive is blocked following an audible and visual warning and, if this proves insufficient, the vehicle's brakes are applied. This prevents the vehicle from exceeding the speed limit and from leaving the section of the route approved by the Radio Block Centre (RBC).

In the simplest case, route information is transmitted via the balises already used for positioning (ETCS, Level 1), which are controlled via the signals located along the route or directly by the RBC. On more complex routes, information is transmitted by radio (ETCS, Level 2) via GSM-R to reduce the trackside infrastructure. Relatively low data rates are required for this transmission (well below 1 kbit/s), but they must be

Bild 1: Streckenbalise

Fig. 1: A railway balise

Quelle / Source:

Siemens SMO



trem hoher Zuverlässigkeit übertragen werden müssen. Fehlt diese Information, wird der Zug nach einer definierten Zeit gestoppt.

Problematisch ist der Länderübergang, bei dem der RBC-Wechsel und der Wechsel des Funknetzes zusammenfallen. An dieser Stelle kommt der ETCS-Applikation eine entscheidende Rolle zu, um die Anmeldung im neuen Funknetz sicherzustellen und für den Verbindungsaufbau zum RBC bereit zu sein.

Bereits 2016 wurde mit Enhanced-General Packet Radio Service (E-GPRS) eine IP-basierte Kommunikation für ETCS eingeführt, um die notwendige Kapazität in Knotenpunkten bereitzustellen. Durch E-GPRS ergibt sich für ETCS eine theoretische Verdreifachung der Datenübertragungskapazität des Netzes. Für die angestrebte Digitalisierung und Automatisierung des Bahnbetriebs wie etwa durch Automatic Train Operation (ATO) und Remote Train Operation (RTO) reichen die Übertragungsraten von bis zu 200 kbit/s jedoch nicht aus.

2 Triebfedern für Weiterentwicklung

Das gegenwärtige GSM-R-Netzwerk hat bis dato keine grundlegende funktionale Aktualisierung erfahren. Diese Situation resultiert teilweise aus der engen Verzahnung von Funksystem und ETCS-Applikation. Um den spezifischen Anforderungen des Bahnbetriebs gerecht zu werden, wurden jedoch zahlreiche zusätzliche Funktionen direkt im GSM-R-Netzwerk implementiert, die in regulären Mobilfunknetzen nicht vorhanden sind, darunter Prioritätensteuerung, Gruppenrufe, Sammelrufe und Notrufe.

Der langfristige und notwendige Wechsel zu einem neuen Mobilfunksystem eröffnet die Möglichkeit, die enge Verbindung zwischen Applikation und Kommunikation aufzubrechen. Durch die Trennung von Applikation und Kommunikationssystem kann das reine Funksystem den wesentlich schnelleren Innovationszyklen des Mobilfunks folgen oder durch andere Funktechnologien ersetzt werden, ohne dass die gesamte Fahrzeugausrüstung der Applikation (z.B. ETCS) ebenfalls ausgetauscht werden muss. Diese Trennung wird durch die Einführung eines FRMCS Onboard-Gateways mit einer standardisierten Zugangsschnittstelle erreicht und ermöglicht die Anbindung und Bündelung verschiedenster Applikationen an

transmitted with extremely high reliability. If this information is missing, the train will be stopped after a defined time.

The transition between countries, where the change of RBC and radio network coincide, is problematic. At this point, the ETCS application plays a crucial role in ensuring registration in the new radio network, as well as maintaining readiness to establish a connection to the RBC.

IP-based communication for ETCS was introduced back in 2016 with Enhanced General Packet Radio Service (E-GPRS) in order to provide the necessary node capacity. In theory, E-GPRS triples the data transmission capacity of the network for ETCS. However, the transmission rates of up to 200 kbit/s are not sufficient for the desired digitalisation and automation of rail operations, such as Automatic Train Operation (ATO) and Remote Train Operation (RTO).

2 Drivers of further development

As of today, the current GSM-R network has not yet undergone a fundamental functional update. This situation is partly due to the close integration of the radio system and the ETCS application. However, in order to meet the specific requirements of rail operations, numerous additional functions have been implemented directly in the GSM-R network that are not available in regular mobile radio networks, including priority control, group calls, collective calls and emergency calls.

The long-term and necessary transition to a new mobile radio system opens up the possibility of breaking the close link between application and communication. By separating the application and communication system, the pure radio system can follow the much faster mobile radio innovation cycles or can be replaced with other radio technologies without having to replace the application's entire vehicle equipment (e.g. ETCS). This separation is achieved by introducing an onboard FRMCS gateway with a standardised access interface and enables the connection and bundling of a wide variety of applications to a uniform communication system in the vehicle. This bundling offers vehicle

ein einheitliches Kommunikationssystem im Fahrzeug. Diese Bündelung bietet Fahrzeugherstellern und -betreibern erhebliche Vorteile. Der Wechsel ist jedoch mit einem erheblichen Aufwand für die Umrüstung bestehender Fahrzeugflotten verbunden.

Das bisherige Paradigma, wonach jede Applikation das Funkgerät für ihre Kommunikation selbst mit sich führen muss, wird durchbrochen. Heutige Fahrzeuge sind oft mit bis zu zehn Funkdiensten ausgestattet, die sich gegenseitig beeinflussen. Dabei ist ein störungsfreier Betrieb für den Sprachfunk und ETCS via GSM-R von entscheidender Bedeutung. Die Festlegung der erforderlichen Antennenstandorte und der Aufwand für notwendige Entkopplungsfilter stellen technische und finanzielle Herausforderungen dar. Mit der Einführung von FRMCS wird die operative Kommunikation auf ein redundant ausgelegtes Funksystem beschränkt, und der Antennenwald auf den Fahrzeugen kann verschwinden.

3 Wie funktioniert FRMCS?

Das FRMCS gründet auf Mobilfunktechnologien der Fünften Generation und bietet langfristig die notwendigen Kapazitäten, Zuverlässigkeit und erforderliche geringe Latenz für die zukünftige Bahninfrastruktur. Wie alle Breitbandkommunikationssysteme beansprucht FRMCS mehr Frequenzspektrum als gegenwärtig für GSM-R verfügbar ist. Mit der Durchführungsverordnung (EU) 2021/1730 der Europäischen Kommission vom September 2021 stehen nun zwei Frequenzbänder (n100 und n101) für betriebliche Kommunikation zur Verfügung.

Die höhere Kapazität des Funkkanals und die gesteigerten Übertragungsraten von FRMCS können mithilfe der Quality-of-Service (QoS)-Steuerungsmechanismen von 5G effektiver zwischen den Applikationen verteilt werden. Die IP-basierte Kommunikation vereinfacht die Steuerung des Kommunikationsbedarfs der einzelnen Applikationen sowie die Einführung neuer Dienste.

Basierend auf dem Internet-Protokoll (IP) wird ein Mission Critical Communication (MCX)-Framework eingesetzt, das die zentrale Rechteverwaltung aller Applikationen im Kommunikationssystem übernimmt, einschließlich Priorisierung und QoS. MCX steht für Mission Critical Services, wobei das „X“ die Dienste Sprache, Daten und

manufacturers and operators considerable advantages. However, the change is associated with considerable costs during the conversion of existing vehicle fleets.

The previous paradigm, according to which each application had to carry a radio device for its own communication, is now being broken. Today’s vehicles are often equipped with up to ten radio services that influence one another. Interference-free operations for voice radio and ETCS via GSM-R are of crucial importance. Determining the required antenna locations and the cost of the necessary decoupling filters poses technical and financial challenges. With the introduction of FRMCS, operational communication will be limited to a redundantly designed radio system and the ocean of antennas on the vehicles can disappear.

3 How does FRMCS work?

The FRMCS is based on 5th generation mobile radio technologies and offers the necessary long-term capacity, reliability and latency for the future railroad infrastructure. Like all broadband communication systems, FRMCS requires more frequency spectrum than is currently available for GSM-R. The European Commission’s Implementing Regulation (EU) 2021/1730 of September 2021 means that two frequency bands (n100 and n101) are now available for operational communication.

The higher capacity of the radio channel and the increased transmission rates of FRMCS can be distributed more effectively between applications using the Quality of Service (QoS) control mechanisms of 5G. IP-based communication simplifies the control of the communication needs of individual applications and the introduction of new services.

Based on the Internet Protocol (IP), a Mission Critical Communication (MCX) framework is used to manage the rights of all the applications in the communication system centrally, including prioritisation and QoS. MCX stands for Mission Critical Services, whereby the “X” comprises voice, data and video services. MCX has been extended for functions already available in GSM-R accordingly, such as emergency calls, group calls, collective calls or functional addressing.

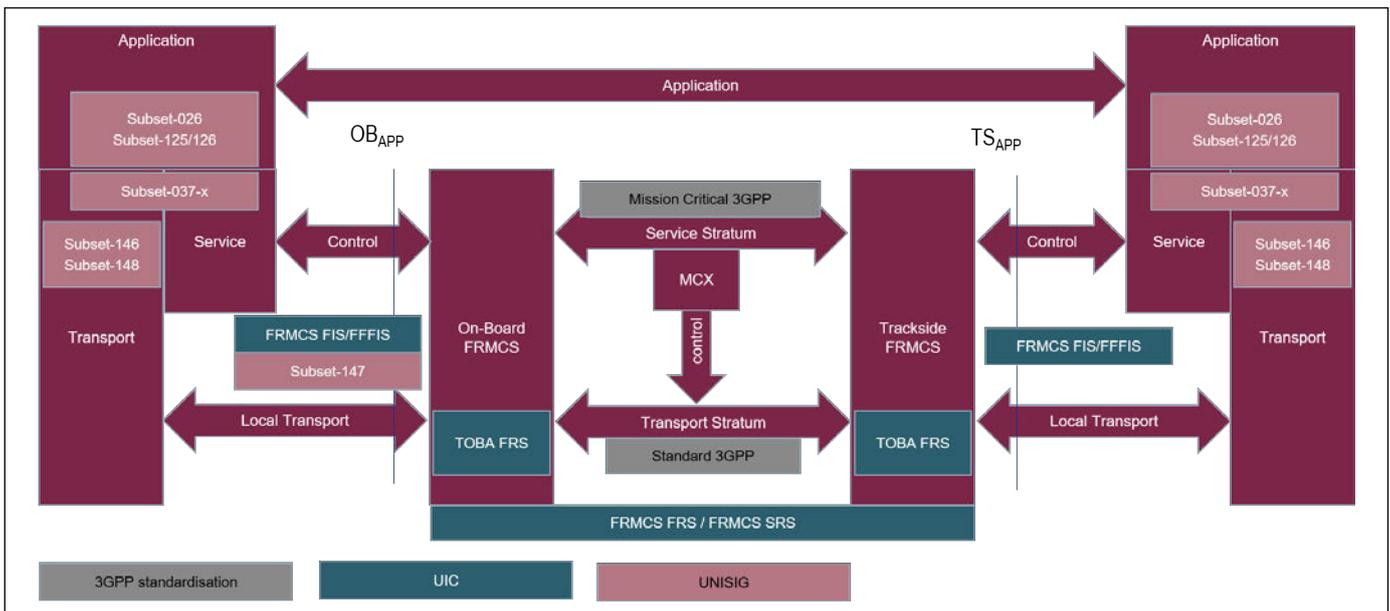


Bild 2: Schnittstellenübersicht und Verantwortlichkeiten Standardisierungsprozess FRMCS

Fig. 2: Overview of interfaces and responsibilities Standardization process FRMCS

Quelle / Source: Siemens SMO

Video umfasst. Für bereits in GSM-R verfügbare Funktionen wie Notrufe, Gruppenrufe, Sammelrufe oder funktionale Adressierung wurde MCX entsprechend erweitert.

MCX bietet ähnlich wie ISDN neben dem Kommunikationskanal einen separaten Signalisierungskanal, über den sich der Nutzer zunächst am MCX-Server anmelden muss, um die Sicherheit im System zu erhöhen. Für den Aufbau einer Verbindung mit einem anderen Teilnehmer wird über den Signalisierungskanal eine Anfrage für eine Verbindung gestellt, woraufhin das Netzwerk exklusiv einen Kommunikationstunnel zwischen den beiden Teilnehmern bereitstellt. Die Eigenschaften dieses Tunnels werden genau an die Anforderungen der jeweiligen Applikation durch das FRMCS-System angepasst. Auch der Abbau der Verbindung wird über den Signalisierungskanal gesteuert, um beispielsweise unerwünschte Verbindungsabbrüche schnell zu erkennen und darauf zu reagieren, ohne auf das Timeout der Datenübertragungsprotokolle warten zu müssen.

Dieses Verfahren ermöglicht erstmals einfache und schnelle Datenverbindungen von streckenseitigen Einrichtungen oder anderen Mobilfunkteilnehmern zu einem Teilnehmer auf dem Fahrzeug. Für Standard-IP-Applikationen können auch Verbindungen zu einem IP-Netz hergestellt werden, was den Einsatz dieser Applikationen ohne spezifische Anpassungen an MCX ermöglicht. Allerdings ist die Optimierung der Verbindung an die spezifischen Erfordernisse der Applikation eingeschränkt.

Zur Steigerung der IT-Sicherheit wurde auf Applikationsseite (z. B. ETCS und ATO) ein zusätzlicher Security-Layer im Kommunikations-Stack des Euroradio-Protokolls eingeführt, der auf aktuellen Cyber-Security-Standards basiert. Da dieser Layer zum nicht-sicherheitsrelevanten Teil des Euroradio-Protokolls gehört, sind Sicherheitsupdates möglich, ohne dass eine aufwendige Neuzertifizierung des gesamten ETCS-Systems erforderlich ist.

Similar to ISDN, MCX offers a separate signalling channel in addition to the communication channel, via which the user must first log on to the MCX server in order to increase system security. To establish a connection with another subscriber, a request for a connection is made via the signalling channel, whereupon the network provides a communication tunnel between the two subscribers exclusively. The properties of this tunnel are adapted precisely to the requirements of the respective application by the FRMCS system. The termination of the connection is also controlled via the signalling channel in order to quickly detect and react to any unwanted disconnections, for example, without having to wait for the data transmission protocols to time out.

For the first time, this process enables simple and fast data connections from trackside equipment or other mobile radio subscribers to a subscriber on the vehicle. Connections to an IP network can also be established for standard IP applications, which enables these applications to be used without any specific adaptations to MCX. However, the optimisation of the connection to the specific requirements of the application is limited.

In order to increase IT security, an additional security layer has been introduced into the communication stack of the Euroradio protocol, which is based on current cyber security standards, on the application side (e.g. ETCS and ATO). As this layer is part of the non-security-relevant part of the Euroradio protocol, security updates are possible without the need for a costly recertification of the entire ETCS system.

Within FRMCS, applications are categorised as “loose-coupled” or “tight-coupled” depending on their MCX capability. Tight-coupled applications such as the voice application support the MCX protocol natively, while loose-coupled applications such

© 2024 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

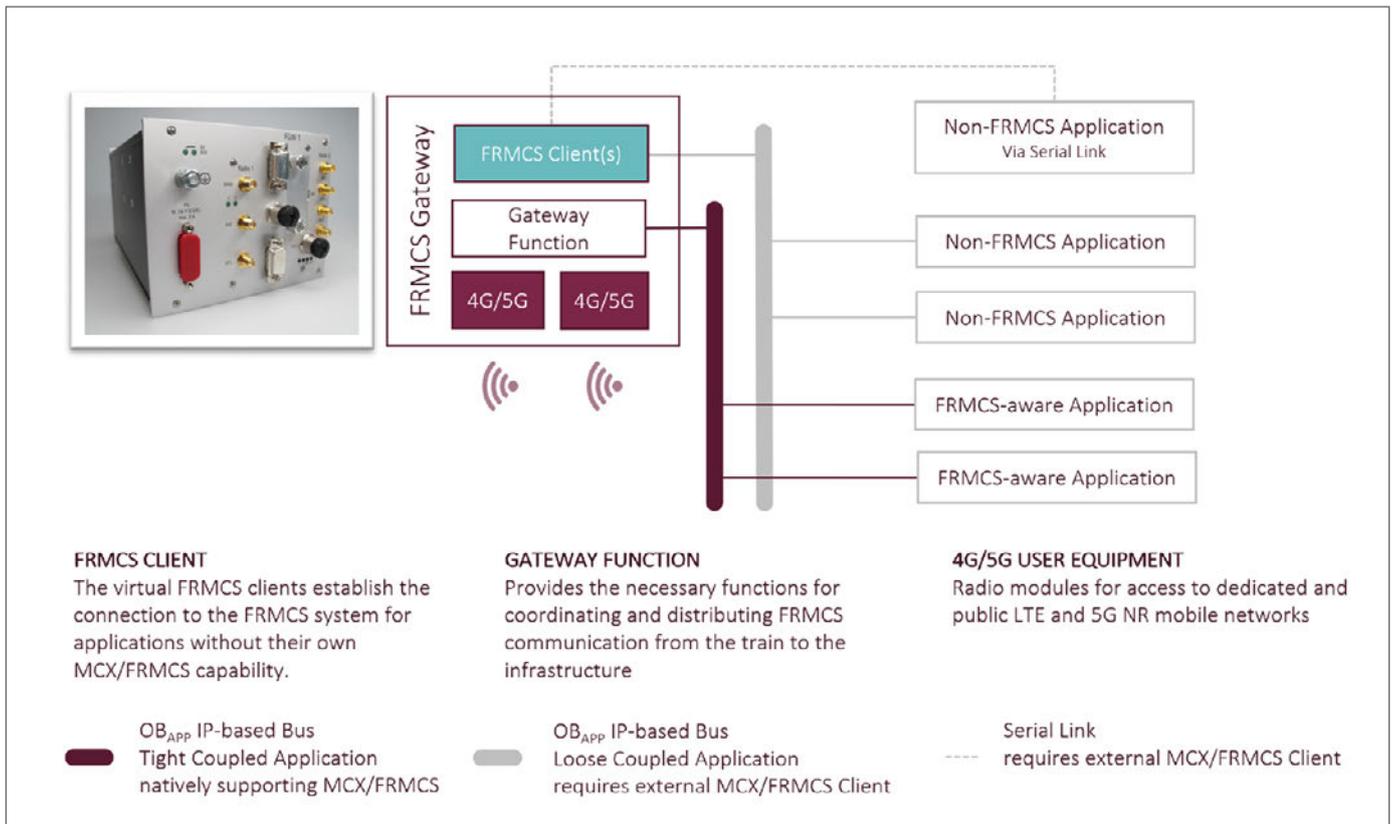


Bild 3: Übersicht Anbindung Onboard-Applikationen FRMCS
 Fig. 3: Overview of the connection of onboard applications to FRMCS

Quelle / Source: Funkwerk V-PM

Im Rahmen von FRMCS werden die Applikationen je nach ihrer MCX-Fähigkeit in „loose-coupled“ oder „tight-coupled“ kategorisiert. Tight-coupled Applikationen wie die Sprachapplikation unterstützen nativ das MCX-Protokoll, während loose-coupled Applikationen wie ETCS dies nicht unterstützen. Für diese Applikationen übernimmt im Gateway ein entsprechender MCX-Client die Mittlerfunktion zum MCX-Server.

4 FRMCS Standards

Mit Veröffentlichung der TSI ZZS 2023 wurde erstmals ein Satz von Standards (FRMCS V1) veröffentlicht. Diese erste Version weist jedoch noch eine Vielzahl offener Punkte auf, wodurch eine Implementierung für den operativen Betrieb derzeit nicht realisierbar ist. Als Antwort darauf werden Ende 2024 die Spezifikationen FRMCS V2 veröffentlicht werden, welche von der European Railway Agency (ERA) als „Technical Opinion“ herausgegeben werden. Diese Version soll sämtliche erforderlichen Definitionen für den Betrieb von Voice-Applikationen, ETCS und ATO bereitstellen.

Eine europaweit angelegte Testphase (bekannt als „Destination 2“, Arbeitstitel MORANE 2.0) ist bis Ende 2026 geplant, um die Spezifikation der Version 2 auf ihre Interoperabilität und Vollständigkeit zu überprüfen. Etwaige daraus resultierende notwendige Anpassungen werden in die FRMCS V3 integriert, die dann gemäß der TSI 2027 als FRMCS 1st Edition die Basis für FRMCS bilden werden.

as ETCS do not. For these applications, a corresponding MCX client in the gateway acts as an intermediary to the MCX server.

4 FRMCS standards

A set of standards (FRMCS V1) was published for the first time with the publication of the TSI ZZS 2023. However, this first version still has a large number of open topics, rendering its implementation for operational use unfeasible at this time.

The FRMCS V2 specifications will be published at the end of 2024 in response to this. They will be issued by the European Railway Agency (ERA) as a “Technical Opinion”. This version intends to provide all the necessary definitions for the operation of voice applications, ETCS and ATO.

A Europe-wide test phase (known as “Destination 2”, working title MORANE 2.0) is planned up to the end of 2026 to check the specification of version 2 for interoperability and completeness. Any necessary adjustments resulting from this will be integrated into FRMCS V3, which will then form the basis for FRMCS as FRMCS 1st Edition in accordance with the TSI 2027.

5 How to get from GSM-R to FRMCS?

The migration from GSM-R to FRMCS cannot be completed overnight, but requires a staggered process. The conver-



funkwerk

Wir sind auf der InnoTrans in Berlin vom 24. bis 27. September 2024

ZUGFUNK | Halle 4.1

Stand 420

REISENDENINFORMATION | Halle 2.1a

Stand 650



ON TRACK TO FRMCS

Die nächste Generation Zugfunk kommt vom Marktführer für Zugfunksysteme

Mit der modularen Flexibilität unserer MESA®26 stellen wir den Betrieb Ihrer Triebfahrzeuge sicher. Die leichte und flexible Erweiterbarkeit durch unsere aktuellen 5G-Module optimiert auch ihre bereits bestehende Investition. Auch ein sehr langer und zukunftsfähiger Einsatz Ihrer bisherigen MESA®-Zugfunkanlage bleibt dadurch gewährleistet.

5 Wie kommt man von GSM-R zu FRMCS?

Die Migration von GSM-R zu FRMCS kann nicht über Nacht vollzogen werden, sondern erfordert einen zeitlich gestaffelten Prozess. Die Umrüstung von rund 40 000 Fahrzeugen europaweit wird mehrere Jahre in Anspruch nehmen, wobei die TSI ZZS eine minimale Übergangsfrist von fünf Jahren vorgibt. Diese Zeitspanne stellt den minimalen Vorlauf dar, innerhalb dessen der Infrastrukturbetreiber die Nutzer über die bevorstehenden Änderungen informieren muss. Die Migration soll bis zum Jahr 2035 abgeschlossen sein, wobei während dieser Zeit ein Parallelbetrieb beider Systeme sowohl fahrzeug- als auch streckenseitig erforderlich ist.

Auf Strecken, die sowohl mit GSM-R als auch mit FRMCS ausgerüstet sind, obliegt die Wahl des Netzwerks der jeweiligen Applikation. Für ETCS trifft die „Coordinating Function“ die Entscheidung darüber, ob das RBC über GSM-R oder FRMCS kontaktiert wird. Der zuletzt genutzte Netzwerktyp für ein RBC wird gespeichert und bei der nächsten Kontaktanfrage wiederverwendet. Wenn der aktuelle Netzwerktyp GSM-R ist, wird parallel geprüft, ob auch eine Verbindung über FRMCS möglich ist. Falls dies der Fall ist, wird FRMCS als Netzwerktyp gespeichert.

Um die Wahl zwischen den beiden Netzwerktypen zu vereinfachen, wurde ein neuer Parameter für die Netzwerk Registration Balise eingeführt, der jedoch nur von der ETCS Systemversion 3.0

tion of around 40,000 vehicles across Europe will take several years, with the TSI ZZS specifying a minimum transition period of five years. This period represents the minimum lead time within which the infrastructure manager must inform the users of the upcoming changes. The migration should be completed by 2035, during which time the parallel operation of both systems is required both on-board and trackside.

The choice of network on routes equipped with both GSM-R and FRMCS is the responsibility of the given application. For ETCS, the “Coordinating Function” decides whether the RBC is contacted via GSM-R or FRMCS. The last network type used for an RBC is saved and reused for the next contact request. If the current network type is GSM-R, the system checks in parallel whether a connection via FRMCS is also possible. If this is the case, FRMCS is saved as the network type.

In order to simplify the choice between the two network types, a new parameter has been introduced for the network registration balise, which is only supported by ETCS system version 3.0. Therefore, system version 3.0 is a mandatory requirement for FRMCS support on the vehicle.

During the migration phase, the RBC must support both system version (SV) 2.x and SV 3.0 vehicles, so SV 2.x must be used on the RBC side. The system version can only be upgraded to 3.0 with a route-related upgrade to the last SV 2.x vehicle.

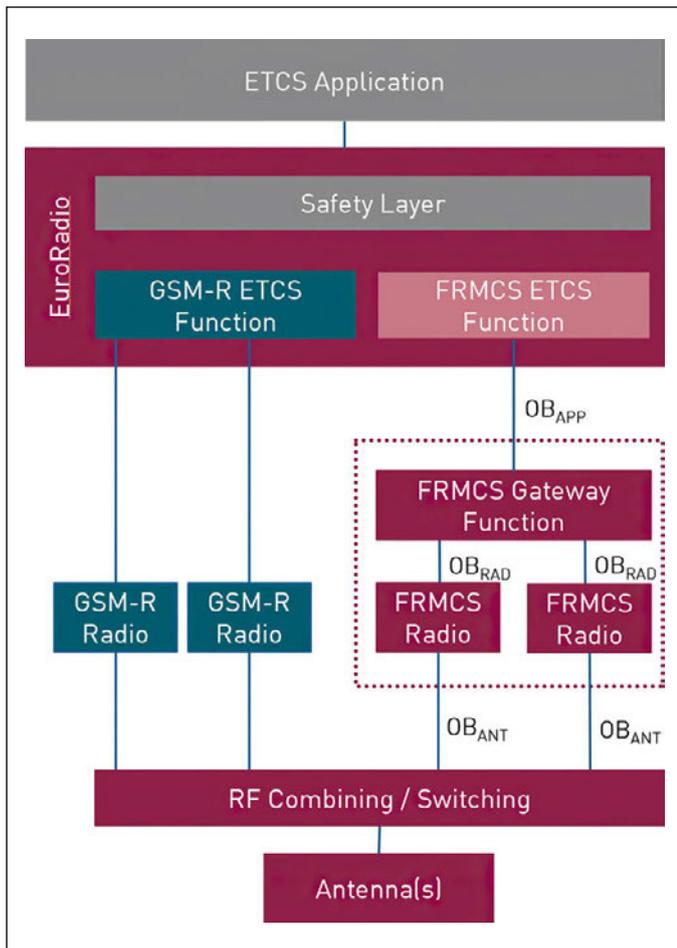


Bild 4: Systemübersicht ETCS in einer Multimode-Umgebung mit GSM-R und FRMCS

Fig. 4: System overview of ETCS in a multi-mode environment with GSM-R and FRMCS
Quelle / Source: Siemens SMO

6 The solution for migration

The industry is striving to provide migration solutions for the FRMCS that can be seamlessly integrated into the existing ecosystem of analogue and/or digital train radio without the need for the comprehensive reinstallation of the technology on the vehicle. These efforts are based on the modular system approach and the associated flexibility of FRMCS.

The central element of FRMCS on the vehicle is the gateway called “FRMCS on-board”, which enables a central connection for the on-board applications and establishes the connection between train and land at the same time. The gateway coordinates all the communication processes, from controlling the radio modules to translating the existing connection requirements into the MCX protocol, regardless of the transportation medium used. In principle, FRMCS is “bearer agnostic”, which means that the gateway uses the available or integrated radio systems (e.g. WAN, WLAN, satellite or mmWave) to provide a transparent transport channel to the application.

7 Outlook

The transition from GSM-R to FRMCS poses considerable challenges for the entire sector. In addition to coordinating the timing of the migration between infrastructure managers, railroad undertakings and vehicle manufacturers, existing bottlenecks are likely to be exacerbated. These bottlenecks affect all aspects of vehicle conversion, from engineering resources and workshop capacities to the corresponding approval activities.

In addition, numerous technical issues still need to be resolved, such as the placement of additional antennas on the vehicle roof. The problem of the lack of mounting locations is currently being discussed in various committees, but the corresponding coexistence requirements of the radio systems and therefore the corresponding solutions are not yet available.

unterstützt wird. Daher ist auf der Fahrzeugseite die Systemversion 3.0 eine zwingende Voraussetzung für die Unterstützung von FRMCS.

Während der Migrationsphase muss das RBC sowohl Fahrzeuge der Systemversion (SV) 2.x als auch der SV 3.0 unterstützen, auf RBC-Seite ist daher die SV 2.x zu verwenden. Erst mit einer streckenbezogenen Hochrüstung des letzten SV 2.x-Fahrzeugs kann die Systemversion auf 3.0 angehoben werden.

6 Die Migrationslösung

Die Industrie strebt danach, Migrationslösungen für das FRMCS bereitzustellen, die sich nahtlos in das bestehende Ökosystem aus analogem und/oder digitalem Zugfunk integrieren lassen, ohne die Notwendigkeit einer umfassenden Neuinstallation der Technik auf dem Fahrzeug zu erzwingen. Diese Bemühungen basieren auf dem modularen Systemansatz und der damit verbundenen Flexibilität von FRMCS.

Das zentrale Element von FRMCS auf dem Fahrzeug ist das Gateway namens „FRMCS on-board“, das eine zentrale Anbindung der fahrzeugseitigen Applikationen ermöglicht und gleichzeitig die Verbindung zwischen Zug und Infrastruktur herstellt. Das Gateway koordiniert sämtliche Kommunikationsprozesse, angefangen von der Steuerung der Funkmodule bis hin zur Übersetzung der vorliegenden Verbindungsanforderungen in das MCX-Protokoll, unabhängig vom genutzten Transportmedium. Grundsätzlich ist FRMCS „Bearer Agnostic“, was bedeutet, dass das Gateway die verfügbaren bzw. integrierten Funksysteme (z. B. WAN, WLAN, Satellit oder mmWave) nutzt, um der Applikation einen transparenten Transportkanal zur Verfügung zu stellen.

7 Ausblick

Der Übergang von GSM-R zu FRMCS stellt den gesamten Sektor vor erhebliche Herausforderungen. Neben der zeitlichen Koordination der Migration zwischen den Infrastrukturbetreibern, den Eisenbahnverkehrsunternehmen und den Fahrzeugherstellern werden sich voraussichtlich die bereits bestehenden Engpässe weiter verschärfen. Diese Engpässe betreffen sämtliche Aspekte der Fahrzeugumrüstung, angefangen von den Engineering-Ressourcen über die Werkstattkapazitäten bis hin zu den entsprechenden Zulassungsaktivitäten.

Darüber hinaus sind noch zahlreiche technische Fragestellungen zu klären, so z. B. stellt die Platzierung zusätzlicher Antennen auf dem Fahrzeugdach eine weitere Herausforderung dar. Die Problematik der fehlenden Montageplätze für die zusätzlichen Antennen wird derzeit in verschiedenen Gremien diskutiert, jedoch fehlen noch die entsprechenden Koexistenzanforderungen der Funksysteme und somit auch die entsprechenden Lösungsansätze.

Alles in allem bleibt bis zur Einführung von FRMCS noch ein längerer Weg zu bewältigen, auf dem zahlreiche Herausforderungen zu überwinden sind. GSM-R wird daher als zuverlässiges und bewährtes Kommunikationssystem auch in den kommenden Jahren eine wesentliche Rolle in der betrieblichen Kommunikation der europäischen Bahnen spielen. ■

Overall, there is still a long way to go until the introduction of FRMCS, with its numerous challenges to overcome. As a reliable and proven communication system, GSM-R will therefore continue to play an important role in the operational communication of European railroads in the coming years. ■

AUTOREN | AUTHORS

Dirk Schattschneider

Productmanager, Head of Business Development
Funkwerk

Anschrift / Address: Im Funkwerk 5, D-99625 Kölleda
E-Mail: dirk.schattschneider@funkwerk.com

Frank Kaiser

Product Line Manager
Siemens Mobilität GmbH

Anschrift / Address: Kieffholzstraße 44, D-12435 Berlin
E-Mail: frank.kaiser@siemens.com

Effizienzsteigerung in der Bestandsmodellierung durch Methoden der Künstlichen Intelligenz

Increasing efficiency in as-built modelling using artificial intelligence models

Alexander Albert | Christof Hoppe | Johannes Lutz | Peter Sassenhagen | Christoph Schütze

Bei der Vermessung von Eisenbahnstrecken mit Mobile Mapping Systemen (MMS) entstehen umfangreiche Daten, die für verschiedene Planungsaufgaben verarbeitet werden und diese sinnvoll unterstützen. Für die Datenverarbeitung bieten Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) einen wesentlichen Beitrag zur Effizienzsteigerung. Die beschriebenen KI-Verfahren können sowohl für Infrastrukturen der Straßenbahn als auch der Eisenbahn eingesetzt und anwendungsspezifisch weiterentwickelt werden. Praktische Erfahrungen aus erfolgreich abgeschlossenen und noch laufenden Projekten zeigen, welche Vorteile der Einsatz der KI-Methoden in der Bestandsmodellierung bietet.

1 Einleitung

Die Basis jeder Planung ist eine qualitativ hochwertige und vollständige Datengrundlage des Planungsraums. Dies gilt insbesondere auch im Bereich der Eisenbahninfrastruktur, bei der eine Vielzahl unterschiedlicher Objekte mit betriebs- und sicherheitsrelevanten Funktionen verbaut sind, z.B. in der Leit- und Sicherungstechnik (LST). Neben der Information über die Art der einzelnen Komponenten sind deren exakte Positionen und je nach Planungsgewerk weitere Attribute wichtig für die Planung.

Für die Erstellung einer solchen Datengrundlage ist eine Vermessung der jeweiligen Strecken notwendig, was sich auch in den Vorgaben für die Streckenausrüstungen mit ETCS Level 2 im Netz der DB Netz AG widerspiegelt (gemäß DB-Richtlinie 819.1343). Nach der Erfassung der Strecken müssen die gewonnenen Daten verarbeitet und muss der Bestand an den Strecken modelliert werden. Dazu gehören unter anderem die Verortung, die Identifizierung und die Attribuierung der Objekte im Umfeld der erfassten Eisenbahnstrecken. Diese stellen ergänzend die Grundlage für ein gewerkeübergreifendes objektorientiertes Modell dar. Die dabei notwendigen Schritte sind repetitiv und erfordern eine hohe Zuverlässigkeit. Sie bieten sich daher optimal für den Einsatz von KI-Methoden an.

Als Datengrundlage für die hier vorgestellten Verfahren werden die Daten eines 3D-Laserscanners (Trimble MX9) verwendet. Dieses MMS liefert sowohl 360° Bilder als auch eine hochgenaue 3D LiDAR-Punktwolke mit entsprechend exakten Geopositionen.

2 Einsatz von KI-Methoden zur Effizienzsteigerung

Um eine effiziente Aufbereitung der Daten des Mobile Mapping zu ermöglichen, wurde ein semi-automatischer Workflow entwickelt, bei dem Bildverarbeitung und maschinelles Lernen (ML) bereits einen Großteil der Erkennungsaufgaben automatisiert. Im Kern jedes Projekts der digitalen Bestandserfassung stehen vorwiegend zwei

When mapping out railway tracks with Mobile Mapping Systems (MMS), extensive data is generated that can be used for various planning tasks during further processing. Artificial intelligence (AI) methods are making significant contributions to increased efficiency in this processing phase. These methods can be used to process tramway and rail infrastructure. Furthermore, it is also feasible to further develop these methods for other applications. Experience in both successfully completed and ongoing projects has shown the advantages of using AI methods in as-built modelling.

1 Introduction

The basis of a good project planning phase requires an in-depth understanding of the planning area based on sufficient data. This is especially the case in rail infrastructure projects where many different assets need to function together in order to ensure safe and consistent operations. In addition to knowing the type of asset, it is also important to know the exact location for each object. Further supplementary attributes might also be important for each asset depending on the use case.

The creation of such datasets requires each track to be mapped out in the manner described in the guidelines for ETCS Level 2 track equipment by DB Netz AG (according to DB-Ril 819.1343). Once the tracks have been mapped out, the obtained data must be processed and the existing infrastructure modelled. This includes the detection, localisation, identification and labelling of assets in the track perimeter. The track itself, as well as the recorded assets, constitute the basis for a cross-trade, object-oriented model. Asset labelling is a highly repetitive, yet necessary step for which a high level of accuracy is imperative. It is therefore an optimal task for AI models. The data for the processing methods presented here has been captured using a 3D laser scanner (Trimble MX9). This MMS provides both 360-degree panorama images and a highly accurate 3D LiDAR point cloud with accurate geolocation.

2 Using AI models to increase efficiency

A semi-automatic workflow has been developed, in which image processing and machine learning (ML) have already automated a large number of the recognition tasks in order to ensure the efficient processing of the mobile mapping data. In essence, there are two types of tasks in every track mapping pro-

Aufgabentypen: Die Erkennung von Objekten, wie Signale und Weichen, und die Bestimmung des exakten Gleisverlaufes. Im folgenden Kapitel werden für beide Aufgabentypen Verfahren vorgestellt.

2.1 Automatische Erkennung des Schienenverlaufes

Ziel der Entwicklung war es, den Gleisverlauf ohne Interaktion mit einem Menschen zu bestimmen und dabei eine hohe Genauigkeit der Centerline (Gleisachse) zu erreichen. Neben den LiDAR-Daten ist weiterhin der grobe Verlauf des befahrenen Gleises (z. B. aus der GPS-Trajektorie des MMS) als Eingangsdaten notwendig. Entlang dieser Trajektorie werden in regelmäßigen Abständen 2D-Schnitte der Punktwolke erstellt. Wie in Bild 1a zu sehen, sind dort die Schienen eindeutig erkennbar. Im Gegensatz zu semi-automatischen Tools, in denen entweder nur einer Linie gefolgt oder versucht wird, die Schienenform anhand eines CAD-Modells wiederzufinden, wird in diesem Verfahren ML eingesetzt. Dies hat den Vorteil, dass die Erkennung deutlich robuster ist und auch gleichzeitig verschiedene Schienenformen erkannt werden können, was den Einsatz sowohl in Eisenbahn- als auch in Straßenbahnnetzen ermöglicht.

Ausgehend von Beispielbildern, in denen Schienenköpfe zunächst durch einen Menschen markiert wurden, lernt das Verfahren selbstständig, Bildbereiche mit Schienenkopf von Bildbereichen ohne Schienenkopf zu unterscheiden (Bild 1b). Diese Methode grenzt potenzielle Schienenbereiche ein, erlaubt aber noch keine exakte Bestimmung des Schienenprofils. In einem zweiten Schritt (Bild 1c) wurde daher ein ebenfalls auf ML basiertes Regressionsverfahren entwickelt, das aus einem Bildbereich mit Schienenkopf die exakte Position der Schieneninnenkante ermittelt.

Das Ergebnis dieser beiden Schritte sind die Schieneninnenkanten in jedem 2D-Schnittbild. Um etwaige Fehldetektionen zu erkennen und zu entfernen oder auch um kürzere Bereiche, in denen keine Schienen gefunden wurden, zu überbrücken, wurde weiterhin ein robustes Interpolationsverfahren entwickelt, das die Schiene als mathematische Funktion repräsentiert. Ebenso können durch die Repräsentation als mathematische Funktion Bogenradien und Längsneigungen direkt ermittelt werden.

ject: the detection of objects such as signals and switches and the determination of the exact route of the track. The workflows for both tasks are presented in the following chapter.

2.1 Automatic rail and centreline detection

The main goal of the development was to determine the track centreline with a high degree of accuracy without the need for any human interaction. An estimate of the track route is needed (e.g. the trajectory of the mapping run) in addition to the LiDAR data. 2D slice views of the point cloud are made at set intervals along the trajectory. As depicted in fig. 1a, the rails can be clearly made out. ML is used in this process in contrast to semi-automatic tools, where either only a line is followed or an attempt is made to find the rail shape using CAD models. The advantage here lies in the fact that the detection is more robust, while different types of rail shapes can also be detected at the same time. This renders it suitable for use on railroad and tram infrastructures.

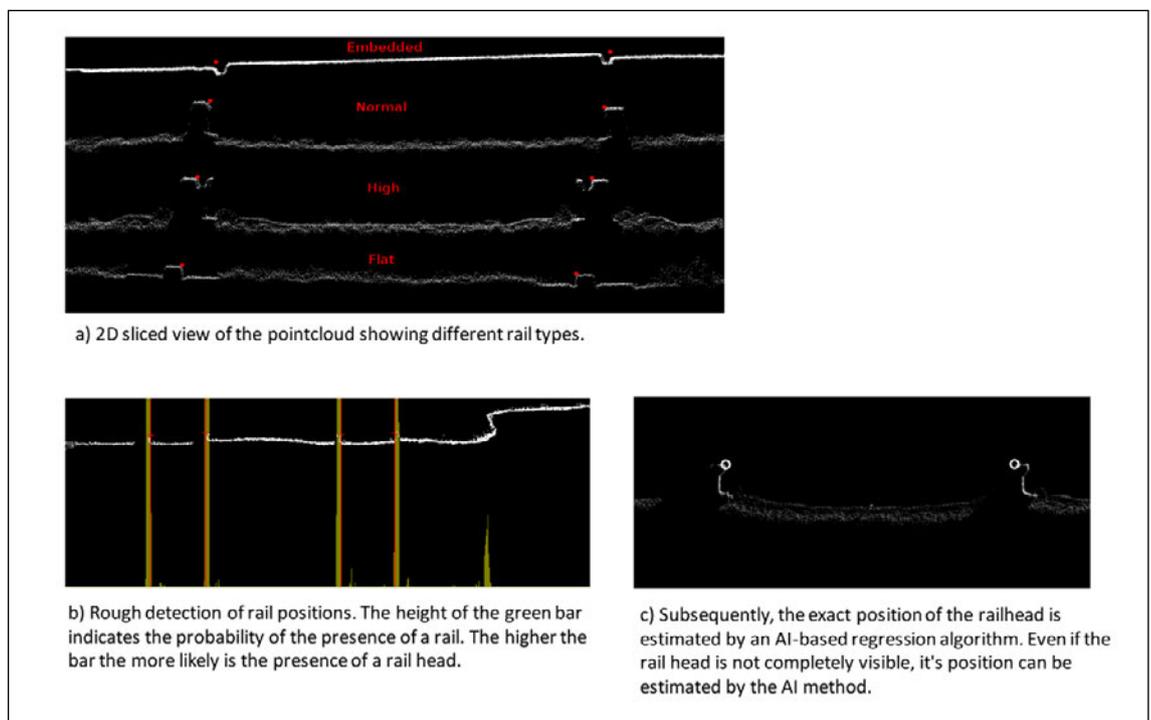
The use of a set of images in which railheads have been marked by humans enables the algorithm to learn to differentiate between image areas with or without railheads (fig. 1b). Given that this method is only able to detect the broad location of the rails in the image, a second step is then necessary to detect the exact rail profile. ML-based regression models that can determine the exact position of the inner edge of the rail were developed in a further step (fig. 1c).

These steps have resulted in the inner edge of the rail being in every 2D slice view. A robust interpolation method that converts the single detections into a continuous mathematical function has been added to detect and remove any potential false positives or to bridge any short areas with no detection. Furthermore, arc radii and longitudinal slopes can also be determined when using this function.

10 km of one German tram network were annotated by hand in order to train the ML algorithms. All known rail types were used in sufficient quantities in the training data.

Bild 1: Visualisierung der Schienen-erkennung

Fig. 1: Visualising the rail detection



Zum Trainieren der beiden ML-Verfahren wurden ca. 10 km Schienennetz eines deutschen Straßenbahnnetzes per Hand annotiert. Besonderes Augenmerk bei der Erstellung dieses Datensatzes wurde darauf gelegt, dass alle bekannten Schienenformen ausreichend häufig vorkommen.

Das hier beschriebene Verfahren lässt sich sowohl im Straßenbahnbereich als auch bei Eisenbahnstrecken einsetzen. Neben den Schienen des mittels 3D-Laserscanner befahrenen Gleises werden auch Schienen in bis zu 12 m Entfernung erkannt. Weiterhin wurden die Verfahren so entwickelt, dass sie spurweitenunabhängig sind. Da in den Erkennungsverfahren keine Annahmen über minimale bzw. maximale Bogenradien oder mögliche Überhöhungen getroffen wurden, können mit dem Verfahren sowohl Gleise von Straßenbahnen als auch von Hochgeschwindigkeitsstrecken verarbeitet werden.

Aktuell können mit diesem Verfahren bis zu 99 % der Streckenkilometer des befahrenen Gleises automatisch detektiert werden. Bei der Erkennungsrate der Nachbargleise spielt insbesondere die Sichtbarkeit eine Rolle: Werden diese bei einer Befahrung durch einen Bahnsteig oder einen Zug verdeckt, können sie nicht erkannt werden. Um das vollständige Netz abzubilden, werden daher die Fehlstellen durch ein semi-automatisches Tool ergänzt.

2.2 Automatische Erkennung von Bahninfrastrukturkomponenten

Neben der Erkennung von Gleisachsen ist ebenso die Position der gleisnahen Objekte für die Planung von Bedeutung. Technisch besteht die Bestimmung der Positionen aus zwei Teilen:

1. der Erkennung von relevanten Komponenten in den Bildern und
2. die Verortung dieser in einem geodätischen Koordinatensystem.

Die Forschung zur Erkennung von Objekten in Bildern hat in den letzten Jahren massive Fortschritte gezeigt (Bild 2). Aufbauend auf aktuellen KI-Methoden wurde ein System entwickelt, das bis zu 145 verschiedene Komponenten der Eisenbahninfrastruktur in Bildern erkennt. Um ein solches System zu entwickeln, mussten auch hier zunächst Bilder per Hand annotiert werden, d.h. alle relevanten Objekte wurden im Bild von einem Menschen durch ein Rechteck markiert und entsprechend benannt. Anschließend wurde ein State-of-the-Art Objekterkennungsmodell trainiert.

Die Anwendung des trainierten Modells ermöglicht die zweidimensionale Erkennung in den aufgenommenen Bildern. Dies erfordert anschließend eine Überlagerung mit den Daten der Punktwolke. Durch diese Verknüpfung erhalten die generierten Bildinformationen ihre 3D-Geokoordinate. Anforderungsgemäß werden die Einfügestellen der spezifischen Objektkategorien ermittelt und wird eine intelligente Bereinigung des Datenrauschens vorgenommen.

Diese Datenbereinigung wird des Weiteren um weitere Analysemethoden ergänzt, sodass auch duplizierte Erkennungen aus unterschiedlichen Bildsequenzen vermieden werden.

3 Anwendungen der KI-Methoden in Projekten der spurgeführten Infrastruktur

3.1 Leipzig: Effiziente Bestandsmodellierung einer Straßenbahninfrastruktur

Die Bestandsmodellierung und Lichtraumprofilvermessung in Straßenbahnsystemen sind ein wichtiger Baustein für die Sicherheit, Effizienz und Planung von Gleisanlagen. Die vorgestellten KI-Methoden konnten im Rahmen eines Projektes in Leipzig bereits angewendet werden und die vorhandenen Prozesse revolutionieren.

Inhalt dieses Projektes war eine Bestandsmodellierung des Leipziger Streckennetzes mit einer Gesamtstreckenlänge von 146 km und einer Gleislänge von 314 km. Dafür wurde zunächst das gesamte Straßen-

The described model works with tram tracks as well as railroad tracks. The method is also able to detect rails up to 12 meters away from the rails that the track mapping took place on. The method has been developed so that the track width does not have to be fixed. The method works for both high-speed trains and trams, because there are no presumptions about the minimum or maximum arc radii or cants.

At the moment, 99 % of the track kilometres can be detected automatically. The detection of the neighbouring track is dependent on its visibility: if the mapping run passes through a station or a train is standing on the track, the neighbouring track is not visible and therefore cannot be detected. The missing tracks are added using a combination of manual and semi-automatic tools in post.

2.2 Automated rail infrastructure asset detection

In addition to the detection of the centrelines, assets in proximity of the track are also important for planning purposes. The detection method consists of two parts:

1. The detection of any relevant assets inside the images
2. The localisation of these assets inside a geodetic coordinate system.

In recent years, there have been massive improvements in the detection of objects inside images (fig. 2). Building on existing AI methods, a model has been trained that can detect 145 different infrastructure components. The development and training of such a system requires annotated data. The relevant infrastructure components were marked and labelled within the images by hand. A state-of-the-art asset detection model was then created using this training data.

The use of the trained models enables two-dimensional detection within the images taken during the data capture. In part two, the images with detected assets are overlaid onto the point cloud. This enabled the assets detected within the images to receive their 3D-coordinates. The insert points for the corresponding asset categories are determined in accordance with the requirements. Finally, the data noise is cleaned. This includes removing any duplicate asset detections.

3 Using the AI model in railroad and tram projects

3.1 Leipzig: efficient as-built modelling of the tram infrastructure

As-built modelling and clearance gauge measurement in tram systems are an important component for the safety, efficiency and planning of track systems. The presented AI-model was able to revolutionise the current processes during its use in Leipzig.

The content of this project was an as-built model of the Leipzig tram network with a total route length of 146 km and a track length of 314 km. To this end, the entire tram network was first recorded using an MMS. The point clouds from different measurement runs were linked together and a relative accuracy of better than 1 cm was achieved. The project did not only cover the main lines of the tram network, but also was extended to five depot areas.

The main task was to create a detailed polyline mesh showing the exact position of the left and right rails on the road. The presented method was used to determine the precise positions of the rails, including the centreline. On the one hand, this polyline network was used to document the route of the rails and, on the other hand, to check the clearance, including



Bild 2: Automatische Erkennung und Lokalisierung von Bahninfrastrukturkomponenten

Fig. 2: The automated detection and localisation of rail infrastructure components

bahnnetz durch ein MMS erfasst. Die Punktwolken unterschiedlicher Messfahrten wurden miteinander verknüpft und eine relative Genauigkeit von besser als 1 cm erreicht. Das Projekt umfasste nicht nur die Hauptstrecken des Straßenbahnnetzes, sondern erstreckte sich auch auf die fünf Depotbereiche.

Die Hauptaufgabe bestand darin, ein detailliertes Polyliniennetz zu erstellen, das die exakte Lage der linken und rechten Schienen auf der Straße abbildet. Das vorgestellte Verfahren wurde eingesetzt, um die präzisen Positionen der Schienen zu ermitteln, einschließlich der Schienenmitte. Dieses Polyliniennetz diente einerseits der Dokumentation des Schienenverlaufs bzw. der Schiene, andererseits der Lichtraumprüfung inkl. einer Kollisionsprüfung im 3D-Raum, um die Profilaumfreiheit einer neuen Straßenbahnflotte sicherzustellen.

Um die Genauigkeit der Gleismittenextraktion zu prüfen, wurde an mehreren Stellen im Bahnnetz der Gleismittenabstand manuell nachgemessen und mit den automatisch ermittelten Abständen verglichen. Hierbei konnte nachgewiesen werden, dass der Unterschied in der Größenordnung der relativen Punktwolkenauflösung von etwa einem Zentimeter liegt. Durch die Verwendung der zuvor vorgestellten Methode zur Erkennung der Schienen konnte eine deutlich höhere Effizienz erreicht werden: Im Vergleich zu marktüblichen Tools zur semi-automatischen Schienenenerkennung ist der Arbeitsaufwand etwa um einen Faktor 10 geringer. Insbesondere bei komplexen Gleiskonstellationen (Depotbereich) ist der Effizienzgewinn enorm. Weiterhin wurde festgestellt, dass die per KI erkannten Schienen der Schieneninnenkante genauer folgen, als dieses mit anderen Tools erreicht werden kann. Das Projekt in Leipzig verdeutlicht, wie KI die Effizienz und Genauigkeit bei der Bestandsmodellierung von Straßenbahnsystemen steigern kann. Die gewonnenen Daten bilden eine solide Grundlage für die Planung, Wartung und Erweiterung der Straßenbahnnetze und tragen dazu bei, die Sicherheit und Effizienz im öffentlichen Nahverkehr zu gewährleisten.

3.2 Eisenbahn: Erfahrungen in Deutschland und weltweit

Klassische Planungsprozesse in der Eisenbahninfrastruktur werden in der Regel von zahlreichen Iterationsschleifen, sogenannten Änderungsmitteilungen, begleitet. Somit müssen diese durch mehrere Prüf- und Freigabeprozesse sowohl von Planern, Herstellern, Betreibern als

a Kollision check in 3D space, in order to ensure the free profile space for the new tram fleet.

A selection of points on the track were conventionally surveyed multiple times in order to check the accuracy of the centreline extraction. Comparing the manually measured points with the points inside the point cloud verified the relative point cloud position to within 1 cm. Much higher efficiency was achieved through the use of the AI methods. The workload was decreased by a factor of ten when compared to the existing semi-automatic detection tools. The gained efficiency is huge, especially in complex track areas such as depot areas. Furthermore, the use of the AI method provides more accurate tracking of the inner edge of the rail than other tools on the market.

The project in Leipzig shows how AI can increase the efficiency of as-built modelling in tram systems. The obtained data forms a solid basis for the planning, maintenance and expansion of tram networks and helps ensure the safety and efficiency of public transportation.

3.2 Railroad: experience in Germany and worldwide

Traditional planning processes in rail infrastructure are usually subject to multiple iterations with so called change notifications. This means that planners, manufacturers, operators and testing authorities must go through several testing and approval loops. This requires time, money and personnel and leads to delayed commissioning. Given that renovations must be planned with short lead times, it is important to make the planning processes more robust and to optimise them so that any unplanned events only have a minimal impact. Precise and highly accurate as-built data is making a significant contribution to this, as any iterations due to incorrect data and time-consuming surprises during installation are minimised.

In recent years, a significant improvement in the processes has been achieved due to the use of the described AI methods. Siemens Mobility has mapped out more than 4500 track kilometres in Germany using MMS and analysed them with AI. The extraction of centrelines in the track heading with

auch Prüfungsbehörden aufwendig durchlaufen werden. Dies erfordert zahlreiche Ressourcen monetärer, zeitlicher und personeller Art und führt schlussendlich zu verzögerten Inbetriebnahmen. Gerade vor dem Hintergrund der mit geringem zeitlichem Vorlauf zu planenden Generalsanierungen gilt es, die Planungsprozesse robuster zu gestalten und zu optimieren, sodass ungeplante Ereignisse nur minimale Einflüsse haben. Dafür bieten exakte und hochgenaue Bestandsdaten einen wesentlichen Beitrag, da Iterationen aufgrund fehlerhafter Daten sowie zeitaufwendige Überraschungen beim Einbau minimiert werden.

In den vergangenen Jahren konnte durch Einführung der oben beschriebenen KI-Verfahren eine signifikante Verbesserung einzelner Prozesse erreicht werden. So wurden bereits mehr als 4500 Gleiskilometer in Deutschland durch Siemens Mobility mithilfe eines MMS erfasst und mittels KI ausgewertet. Die Extraktion der Gleisachse und des Schienenverlaufs mithilfe der KI hat die Prozessgeschwindigkeit im Eisenbahnbereich um mindestens 50 % gegenüber herkömmlichen semi-automatischen Annotationen verbessert. Gleichzeitig konnte durch die Einführung der KI basierten Objekterkennung und deren stetige Weiterentwicklung die Erstellung von aktuellen Bestandsplänen massiv erleichtert werden.

Eine Herausforderung bilden jedoch immer wieder divergierende Interessensfragen seitens der Auftraggeber bzw. Anwender, die aus ihren jeweiligen Projektsichten die unterschiedlichsten Bedarfe und Anforderungen stellen. Diese sich je Projekt und Region dynamisch verändernden Anforderungen gehen gleichzeitig mit diversen Schnittstellen und Formaten einher. Hier konnte mithilfe der KI und nachfolgender semi-automatischer Prozessierungen eine auf die jeweiligen Anforderungen abgestimmte Datenanreicherung entwickelt werden. Im Vergleich zu konventionellen Planungen für Eisenbahninfrastrukturprojekte, insbesondere im LST-Bereich, bietet dieses Vorgehen deutliche Vorteile. So können Informationen nun von Beginn an digital und durchgängig erhoben werden. Planer erhalten, neben dem hochgenauen skalierten Lageplan, die Möglichkeit, sich mit der durch die aufgenommenen Bilder überlagerten 3D-Punktwolke ein örtliches Ist-Lagebild direkt am Schreibtisch zu erstellen. In diesem ortsunabhängigen, webbasierten Zugriff können erhobene Informationen jederzeit situativ betrachtet oder zusätzliche Informationen für die weitere Soll-Planung erhoben werden.

Durch regelmäßige Rückmeldung an die KI können diese neuen Informationen zur kontinuierlichen Optimierung der Algorithmen beitragen, was wiederum die Qualität sowohl im Wiedererkennungsvermögen als auch die Genauigkeit steigert. Der begleitende Abgleich mit zugeführten Bestandsdaten seitens der Auftraggeber führt zu einer stetigen Datenanreicherung. Insbesondere vor dem Hintergrund der zunehmenden Bestrebungen des Einsatzes von BIM-Methoden (Building Information Modeling) ermöglichen die branchenweiten Abstimmungen über einheitliche Datenschnittstellen künftig einen kontinuierlichen Datenfluss von Bestandsdatenerfassung über Grob- und Feinplanung, der Montage und Abnahme bis hin zur Inbetriebnahme. Der durchgängige Datenfluss kombiniert mit einer einheitlichen Datenverwaltung stellt als erstrebenswertes Ausblick die Grundlage für einen digitalen Zwilling der Eisenbahninfrastruktur dar.

4 Erkenntnisse und Blick in die Zukunft

Die Vermessung einer Bestandsinfrastruktur mit einem MMS ist für Straßenbahn- und Eisenbahninfrastruktur ein wichtiger Ansatz zur Erhöhung der Planungsqualität. Viele weitere Vorteile und Verbesserungen werden allerdings erst durch eine weiterführende Verarbeitung der Vermessungsdaten erreicht. Dazu gehören u.a. die Vermessung des Lichtraumprofils, die Ermittlung der Gleisachse und die Erkennung von Objekten.

the help of AI has increased the process speed in the rail area by at least 50 % compared to regular semi-automated annotation methods. At the same time, the introduction of AI-based object recognition and its continuous further development has also made it much easier to create up to date as-built plans.

One ongoing challenge involves the diverging points of interest for different clients in the individual projects. These dynamically changing requirements for different regions and projects coincide with different interfaces and formats. The use of AI and subsequent semi-automatic processing made it possible to develop data enrichment tailored to the respective requirements.

This method has proven to have significant advantages for rail infrastructure projects compared to conventional planning processes, especially with regard to control and safety systems. The method enables data to be gathered digitally throughout the entire process. In addition to the high precision scaled site plan, planners also have the option of using the 3D point cloud overlaid with the captured images to create a localised, current on-site image directly at their desks. The collected information can be viewed at any time using this location-independent, web-based access as needed or additional information can be collected for further planning.

The use of the feedback loops inside the AI model means that the results provided by the AI improve over time. The increasing efforts to use Building Information Modeling (BIM) methods and industry-wide coordination via standardised data interfaces will enable a continuous data flow from as-built data acquisition through to rough and detailed planning, assembly and acceptance through to commissioning. The continuous data flow combined with standardised data management represents the basis for a digital twin of the railroad infrastructure as a worthwhile prospect.

4 Insights and a look into the future

Mapping out tram and rail infrastructure with MMS is an important approach to increasing planning quality. The analysis of the data subsequently leads to many more advantages and improvements. This includes the measurement of the clearance profile, centreline detection and the detection of any assets around the track.

Until now, the processes required for this use case could only be implemented semi-automatically using special software solutions. Siemens Mobility uses various ML approaches and is developing AI methods that significantly increase the degree of automation. At the same time, object-oriented models are being created that offer significant added value compared to conventional paper planning and can be used digitally throughout the entire planning and construction process.

In the long term, this will also enable intelligent asset management that uses AI-based algorithms to enable predictive maintenance and intelligent operations right from the start. In summary, this will not only significantly reduce planning times, but it will also ensure more efficient and resource-saving operations on railroad infrastructure in the future. ■

Die dafür notwendigen Verfahren waren bislang maximal semi-automatisch mit speziellen Softwarelösungen umsetzbar. Siemens Mobility hat dafür verschiedene Ansätze des ML genutzt und KI-Methoden entwickelt, die den Grad der Automatisierung deutlich erhöhen. Gleichzeitig werden objektorientierte Modelle geschaffen, die gegenüber konventionellen Papierplanungen einen deutlichen Mehrwert bieten und durchgängig digital über den gesamten Planungs- und Bauprozess verwendet werden können.

Dies wird weitblickend auch ein intelligentes Asset-Management ermöglichen, das von Beginn an mithilfe von KI basierten Algorithmen die vorausschauende Wartung und den intelligenten Betrieb ermöglichen. Zusammenfassend verkürzt sich nicht nur die Planungsdauer deutlich, sondern gewährleistet zukünftig auch einen effizienteren und ressourcenschonenderen Betrieb der Eisenbahninfrastruktur. ■

AUTOREN | AUTHORS

Alexander Albert
Service Engineer
E-Mail: albert.alexander@siemens.com

Dr. Christof Hoppe
Computer Vision Expert
E-Mail: christof.hoppe@siemens.com

Johannes Lutz
BIM & Digitalization Manager
E-Mail: johannes.lutz@siemens.com

Peter Sassenhagen
Computer Vision Engineer
E-Mail: peter.sassenhagen@siemens.com

Dr.-Ing. Christoph Schütze
BIM Manager
E-Mail: schuetze.christoph@siemens.com

Alle Autoren / all authors:
Siemens Mobility GmbH
Anschrift / Address: Ackerstraße 22, D-38126 Braunschweig



Odometrie ohne zusätzliche Sensoren Zertifizierte Signalverdopplung für alle Sicherungssysteme

Kostenoptimierte Lösung für Nachrüstung und Neufahrzeuge

Bahnlösungen auf knick-international.com

P1680
Universeller Drehsignalverdoppler und -wandler

Erfassung von Infrastruktur- und Umgebungsdaten im Offenen Digitalen Testfeld

Acquisition of infrastructure and environmental data in the Open Digital Test Field

Maximilian Braun | Alexander Wolf | Benedikt Wenzel | Jonathan Günther

Im Rahmen eines Projektes des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (DZSF) wurde eine Erfassung von Eisenbahninfrastrukturdaten im Offenen Digitalen Testfeld (ODT) als Grundlage für die Umsetzung künftiger Projekte durchgeführt. Für das gesamte Streckennetz des ODT wurden georeferenzierte Bilddaten aufgenommen und mit Informationen angereichert, sodass die schnelle Lokalisierung verschiedenster technischer Einrichtungen und Umgebungsbedingungen ermöglicht wird. Die Bildauswertung erfolgte durch intelligente Algorithmen, welche speziell auf Bahninfrastruktur trainiert wurden.

1 Gegenstand der Erfassung im ODT

Für den erfolgreichen Praxistransfer technischer oder betrieblicher Innovationen im Schienenverkehr ist die Erprobung im Realbetrieb entscheidend. Hierzu ist eine offen zugängliche Testinfrastruktur unabdingbar. Das DZSF errichtet das ODT als unabhängige Plattform für die Wissenschaft und Wirtschaft: Offen im Zugang und fokussiert auf digitale Innovationen, die unter Realbedingungen getestet werden. Das Testfeld bietet Raum für Erprobungen in der gesamten Bandbreite der Schienenverkehrsforschung und schließt damit eine Lücke in der Forschungslandschaft. Ein Schwerpunkt des ODT wird das LärmLab 21 sein, mit dem Verfahren für einen besseren Lärmschutz entwickelt und erprobt werden sollen. In der Aufbauphase wird das ODT zur Durchführung von Auftrags- und Eigenforschungsprojekten des DZSF genutzt. Perspektivisch ist auch die Öffnung des Testfelds zur Nutzung durch Dritte vorgesehen. Die folgenden Forschungsschwerpunkte bilden den fachlichen Rahmen des Testfelds:

- Erprobung von Innovationen im Bereich der Fahrzeug-, Antriebs- und Leittechnik
- Monitoring von Betriebs-, Verkehrs- und Instandhaltungsprozessen zur Einführung und Optimierung digitaler Innovationen
- Automatisierung und Digitalisierung des Personen- und Güterverkehrs
- Förderung des Umwelt-, Klima- und Artenschutzes
- Forschung zum Lärmschutz an Infrastruktur und Fahrzeugen sowie zum Erschütterungsschutz
- Verbesserung der Vernetzung der Verkehrsträger untereinander, Weiterentwicklung und Erprobung von intermodalen, verkehrsträgerübergreifenden Mobilitätsangeboten
- Einbeziehung von Betreibern, Fahrgästen und Anwohnern.

Das Testfeld ist zwischen Halle an der Saale, Cottbus und Niesky in den Bundesländern Brandenburg, Sachsen und Sachsen-Anhalt angesiedelt. Das Streckennetz des Testfelds umfasst regulär genutzte Eisenbahnstrecken mit unterschiedlichen Streckenmerk-

Railway infrastructure data has been acquired at the Open Digital Test Field (ODT) as the basis for the implementation of future projects under a project of the German Centre for Rail Traffic Research (DZSF). Georeferenced image data has been recorded for the entire route network of the ODT and enhanced with information enabling the rapid localisation of a wide range of technical facilities and environmental conditions. The images have been analysed using intelligent algorithms that have been specially trained on railway infrastructure.

1 Scope of the data acquisition at the ODT

Testing in real operations is crucial for the successful transfer of any technical or operational innovations in railway transportation. This requires an openly accessible test infrastructure. The DZSF is establishing the ODT as an independent platform for science and industry that is open in terms of access and focused on digital innovations that are tested under real conditions. The test field offers room for trials across the entire spectrum of rail transport research, thereby closing a gap in the research landscape. One focus of the ODT will be LärmLab 21, which will be used to develop and test methods for better noise protection. The ODT will be used to complete commissioned and in-house research projects at the DZSF during the set-up phase. There are also plans to open the test field up for use by third parties in the future. The following research priorities constitute the test field's specialised framework:

- The testing of innovations in the fields of vehicle, traction and traffic control technology
 - The monitoring of operating, traffic and maintenance processes for the introduction and optimisation of digital innovations
 - The automation and digitalisation of passenger and freight transport
 - The promotion of environmental, climate and species protection
 - Research into noise protection for infrastructure and vehicles as well as vibration protection
 - The improvement of transport mode networking and the further development and testing of intermodal and cross-modal mobility services
 - The involvement of the operators, passengers and residents.
- The test field is located between Halle an der Saale, Cottbus and Niesky in the federal states of Brandenburg, Saxony

malen, stillgelegte Infrastrukturen sowie die Eisenbahninfrastrukturen der Braunkohlereviere zur perspektivischen Nachnutzung. Aufgrund der weiträumigen Struktur des ODT und der Vielseitigkeit der hierauf stattfindenden Forschungsaktivitäten sind besondere Werkzeuge zur Vorbereitung und Durchführung von Forschungsarbeiten notwendig. Die bisherigen Forschungsarbeiten des DZSF im ODT zeigen, dass insbesondere die Kenntnis der örtlichen Gegebenheiten zur Planung von Erprobungsprojekten zwingend erforderlich ist. Zum Beispiel ist für die Auswahl von Standorten für Schallmessungen wichtig, dass bestimmte Bedingungen des Gleisoberbaus, der betrieblichen Rahmenbedingungen (Fahrgeschwindigkeit, Anfahr- und Bremsvorgänge) und der Umgebungsbedingungen (Höhenprofil der Landschaft und Vegetation) eingehalten werden. Diese Informationen sind aus bestehenden, offen zugänglichen Datenbeständen bislang nur teilweise und mit erheblichem Aufwand zu ermitteln. Das hier dargestellte Projekt hat die Aufgabe, durch die Erfassung und Aufbereitung von Infrastrukturdaten eine Grundlage dafür zu schaffen, dass wesentliche Fragestellungen zu den örtlichen Gegebenheiten im Testfeld mit einem digitalen Werkzeug geklärt werden können. Hierdurch können zeitaufwendige Begehungen auf Erfolg versprechende Örtlichkeiten beschränkt werden. Um künftige Forschungsprojekte auf dem vielseitigen Streckennetz effizient planen zu können, ist die digitale Erfassung der jeweils örtlich vorliegenden technischen Einrichtungen und Umgebungsbedingungen notwendig. Hieraus entstand die Aufgabe, Bildmaterial von allen öffentlichen Bahnstrecken im ODT aufzunehmen und im Nachgang georeferenzierte Parameter zu den Bahnanlagen und der Umgebung abzuleiten. Im Lieferumfang sollten einzelne Objekte wie Signale oder Achszähler, aber auch grundlegende lokale Streckeneigenschaften wie die Oberbauform enthalten sein. Eine initiale Abschätzung ergab circa 2500 Gleiskilometer, die innerhalb von neun Monaten erfasst und ausgewertet werden müssen.

and Saxony-Anhalt. The test field's route network comprises regularly used railway lines with different route characteristics, decommissioned infrastructure and railway infrastructure from brown coal mining areas for possible subsequent use. The extensive structure of the Open Digital Test Field and the diversity of the research activities taking place on it mean that special tools are required to prepare and carry out the research work. The DZSF's previous research work at the ODT shows that knowledge of the local conditions in particular is essential for planning test projects. For example, it is important that certain track superstructure conditions, operating framework conditions (travelling speed, accelerating and braking processes) and environmental conditions (the height profile of the landscape and vegetation) are observed. To date, this information has only been partially available from existing, openly accessible databases and considerable effort has been required to obtain it. The project described herein has been tasked with creating a basis to clarify the essential questions about the local conditions in the test field using a digital tool by recording and processing the infrastructure data. This means that time-consuming inspections can be limited to locations that promise success. It is necessary to digitally record the local technical facilities and environmental conditions in order to efficiently plan any future research projects on the versatile track network. This has led to the task of recording images for all the public railway lines in the ODT and subsequently deriving georeferenced parameters for the railway facilities and the surrounding areas. The scope of delivery has included individual objects such as signals or axle counters, but also basic local track characteristics such as the superstructure form. An initial estimate showed that around 2,500 kilometres of track would have to be recorded and evaluated within nine months.

Bild 1: Triebfahrzeug mit installiertem TRAXIMIZER Messsystem

Fig. 1: A traction unit with an installed TRAXIMIZER multi-sensor system

Quelle / Source:

Nextrail GmbH



2 Die Vielseitigkeit der Eisenbahninfrastruktur im ODT

Das DZSF hat die Firma Nextrail mit dieser Aufgabe betraut. Nextrail setzte für die Datenerfassung das Multisensorsystem TRAXIMIZER ein, das für die Erfassung von Eisenbahninfrastrukturdaten entwickelt wurde. Das Erfassungssystem besteht aus mehreren Komponenten und basiert im Wesentlichen auf einem bildgebenden Laserscanner- und Kamerasystem sowie einer positionsgebenden Messeinheit. Der Aufbau an einem Triebfahrzeug ist exemplarisch in Bild 1 dargestellt. Die Industriekameras erzeugen aufgrund ihrer Bauweise auch bei ungünstigen Umgebungslichtbedingungen (z. B. Tunnel, Nachtfahrt) hochauflösende Bilddaten mit einer hinreichenden Bildqualität. Die Aufzeichnung der Positionsdaten basiert auf einem INS (Inertial Navigation System), das absolute GNSS-Messungen mit relativen Sensoren der IMU (Inertial Measurement Unit) und optionalen externen Sensoren (z.B. Odometrie) kombiniert. Dadurch können auch in Bereichen ohne ausreichenden GNSS-Empfang (z. B. in Tunnelabschnitten) Positionsdaten generiert werden. Aufgrund der Größe und Vielfalt des zu erfassenden Messgebietes wurde die Befahrung auf mehrere Messkampagnen aufgeteilt. Dabei mussten technische und betriebliche Randbedingungen wie die Elektrifizierung der Strecken, die Art der Zugsicherung oder temporäre Streckensperrungen berücksichtigt werden, was insbesondere die Befahrung des Leipziger Citytunnels und eines Teils der VDE8 (Verkehrsprojekt Deutsche Einheit Nr. 8) zu einer Herausforderung machte. Insgesamt waren fünf Fahrzeuge von vier Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) im Einsatz. Dank der Kompaktheit und Flexibilität des Multisensorsystems TRAXIMIZER stellten die unterschiedlichen Plattformen kein Problem dar, und teilweise konnten sogar zwei verschiedene Fahrzeugtypen an einem Tag eingesetzt werden. Insgesamt wurden im Zeitraum von September 2023 bis Januar 2024 an zehn Tagen und zwei Nächten über 4100 Gleiskilometer aufgenommen. Ein Überblick zu den befahrenen Strecken ist in Bild 2 gegeben. Bei dem geforderten Bildabstand von zwei Metern und zwei unterschiedlichen Kameraperspektiven ergeben sich über vier Millionen

2 The versatility of the railway infrastructure in the ODT

The DZSF entrusted Nextrail with this task. Nextrail used the TRAXIMIZER multi-sensor system developed for acquiring railway infrastructure data. The acquisition system consists of several components and is essentially based on an imaging laser scanner and camera system as well as a positioning measuring unit. The setup on a traction unit is shown as an example in fig. 1. The design of the industrial cameras enables high-resolution images to be generated with sufficient image quality even under unfavourable ambient light conditions (e.g. tunnels, measuring at night). The recording of the position data is based on an INS (Inertial Navigation System) which combines absolute GNSS measurements with the relative sensors of the IMU and any optional external sensors (e.g. odometry). This allows position data to be generated even in areas without sufficient GNSS reception (e.g. in tunnel sections). The survey was divided into several measurement campaigns due to the size and diversity of the area under consideration. Technical and operating constraints such as the electrification of the lines, the type of train protection or temporary line closures had to be taken into account, which made travelling through the Leipzig City Tunnel and parts of the VDE8 (German Unity Transport Project No. 8) a particular challenge. A total of five vehicles from four railway operators (EVU) were deployed. The compactness and flexibility of the TRAXIMIZER multi-sensor system meant that the different platforms posed no problem and, in some cases, it was even possible to use two different vehicle types on the same day. In total, over 4,100 kilometres of track were recorded over ten days and two nights between September 2023 and January 2024. Fig. 2 depicts an overview of the routes travelled. The required image distance of two metres and the two different camera perspectives have resulted in over four

© 2024 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

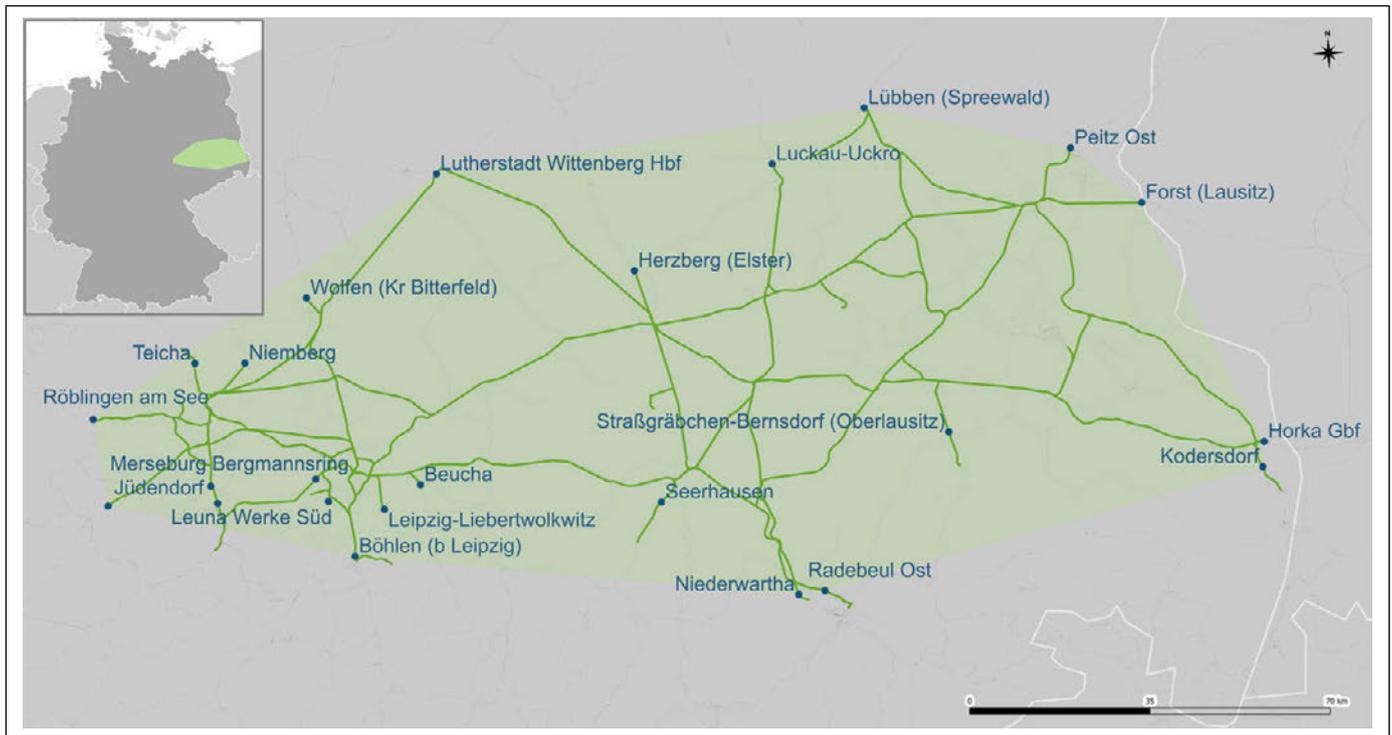


Bild 2: Überblick zur Lage und Erfassung des ODT

Fig. 2: An overview of the location and coverage of the ODT

Quelle / Source: Nextrail GmbH, Karte / Map © OpenStreetMap.org contributors

Bilder, die nach verschiedenen Aspekten ausgewertet werden müssen. Eine manuelle Auswertung einer Vielzahl von Parametern wäre bei diesen Datenmengen wirtschaftlich sehr aufwendig, weshalb in diesem Projekt eine alternative Herangehensweise gewählt wurde.

3 Reduktion großer Datenmengen mit maschinellem Lernen

Um die immense Menge an Bilddaten lückenlos auswerten zu können, nutzte Nextrail verschiedene Algorithmen aus dem Bereich des maschinellen Lernens (ML) zur Bildanalyse, einerseits zur Objekterkennung und andererseits zur Objektklassifikation von Eisenbahninfrastrukturobjekten. Um eine DSGVO-konforme Verarbeitung des Bildmaterials zu gewährleisten, wird zunächst ein leistungsfähiges Objekterkennungsmodell auf die Messdaten angewendet, das personenbezogene Daten (z. B. Gesichter von Personen oder Autokennzeichen) zuverlässig erkennt. Bereiche, in denen diese Objektklassen erkannt wurden, werden mit einem Unschärfefilter überlagert und somit anonymisiert. Erst nach diesem Anonymisierungsschritt werden die Bilddaten erzeugt und gespeichert. Jedes Einzelbild erhält außerdem einen genauen Zeitstempel zur Georeferenzierung. Vorverarbeitete Bilddaten werden im weiterführenden Verarbeitungsschritt analysiert und hinsichtlich erkennbarer Infrastrukturobjekte ausgewertet. Nextrail setzt dabei eigenentwickelte KI-Modelle (KI, Künstliche Intelligenz) ein, die besonders auf Elementklassen der Eisenbahninfrastruktur trainiert wurden. Die eingesetzten Algorithmen zur Objekterkennung und Objektklassifikation sind zwei unterschiedliche Ansätze in der Computer Vision, einem Teilgebiet der KI, das sich mit der Verarbeitung und Interpretation visueller Informationen beschäftigt. Beide Ansätze unterscheiden sich im Ziel der Bildinterpretation:

- **Objekterkennung:** Das Hauptziel der Objekterkennung besteht darin, Objektklassen in einem Bild zu identifizieren inklusive deren relative Position im Bild. Das bedeutet, dass dieser Algorithmus nicht nur die Anwesenheit eines Objekts erkennt, sondern auch seine genaue Position im Bild lokalisiert. Dieser Ansatz wird für Infrastrukturelemente angewendet, die im Bild als abgegrenztes Objekt erkennbar sind (z. B. Hauptsignal, Hektometertafel, Weiche).

million images that must be evaluated with regard to various aspects. Manually analysing a large number of parameters would be very costly with this amount of data, which is why an alternative approach was chosen for this project.

3 Reduction of large amounts of data using machine learning

Nextrail used various algorithms from the field of machine learning (ML) to analyse the immense volume of image data; on the one hand for object recognition and on the other for the object classification of railway infrastructure objects. In order to ensure the GDPR-compliant processing of the image material, a powerful object recognition model that reliably recognises personal data (e.g. the faces of people or car number plates) is first applied to the measurement data. The areas in which these object classes are recognised are overlaid with a blur filter and thus anonymised. Only after this anonymisation process is the image data generated and stored. Each individual image is also given a precise time stamp for georeferencing. The pre-processed image data is analysed in the subsequent processing step and evaluated with regard to any recognisable infrastructure objects. Nextrail uses proprietary AI models (AI, artificial intelligence) that have been specially trained on railway infrastructure element classes. The algorithms used for object recognition and object classification involve two different approaches to computer vision, a branch of AI that deals with the processing and interpretation of visual information. Both approaches differ in their goal of image interpretation:

- **Object recognition:** the main objective of object recognition is to identify object classes in an image, including their relative position in the image. This means that this algorithm not only recognises the presence of an object, but also localises its exact position within the image. This approach is used for infrastructure elements that are recognisable in the image as distinct objects (e.g. main signals, hectometre signs and switches).
- **Object classification:** with object classification, only the class of the entire image is determined. It does not take into ac-

Bild 3: Beispiel für Analyse und Verifikation der automatisiert annotierten Objektdaten

Fig. 3: An example of the analysis and verification of the automatically annotated object data

Quelle / Source:

Nextrail GmbH



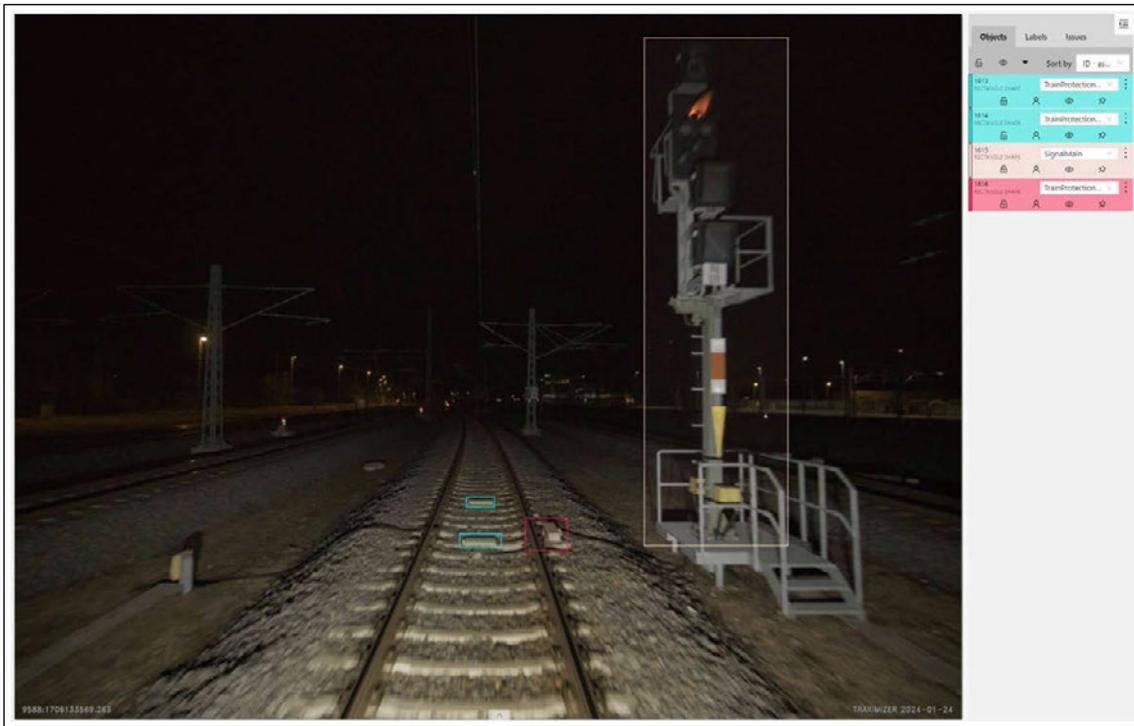


Bild 4: Beispiel für Analyse und Verifikation der automatisch annotierten Objektdaten (Nachtfahrt)

Fig. 4: An example of the analysis and verification of the automatically annotated object data (measurement at night) Quelle / Source: Nextrail GmbH

- **Objektklassifikation:** Bei der Objektklassifikation wird nur die Klasse des gesamten Bildes bestimmt. Es wird nicht berücksichtigt, wo sich das Objekt im Bild befindet. Ziel ist es, das gesamte Bild einer bestimmten Kategorie oder Klasse zuzuordnen. Dieser Ansatz wird für die Typisierung von Infrastruktur angewendet (z. B. Oberbauform, Schwellenart, Schienenbefestigungstyp).

Die Bilderkennungsalgorithmen analysieren jedes Einzelbild, das in der Vorverarbeitung entsteht, und fügen erkannte Objekte und Klassen hinzu. Bevor jedoch das KI-basierte Modell zur Erkennung und Klassifikation von Bilddaten produktiv eingesetzt werden kann, muss seine Leistungsfähigkeit überprüft werden. Dies geschieht durch eine zweistufige Evaluierung. Die erste ist eine generische Evaluierung während des Trainings mit einem Testdatensatz, die zweite eine manuelle Verifikation der Ergebnisse durch geschulte Personen. Bild 3 zeigt die Benutzeroberfläche für die Verifikation der Objektdaten an einem Beispiel. Ungenauigkeiten in der Klassifikation oder fehlerhafte Erkennungen von Infrastrukturelementen werden dadurch aufgedeckt und korrekt identifizierte Bilder durch einen erneuten Trainingslauf in das Modell zurückgeführt. Auf diese Weise ist eine kontinuierliche Verbesserung des Modells und eine Erhöhung der Erkennungssicherheit möglich. Ein weiteres Beispiel für die Verifikation der Objekterkennung ist in Bild 4 gegeben, diesmal bei ungünstigen Umgebungslichtbedingungen.

count where the object is located within the image. The aim is to assign the entire image to a specific category or class. This approach is used for the typification of the infrastructure (e.g. the superstructure type, sleeper type or rail fastening type).

The image recognition algorithms analyse each individual image created during pre-processing and add any recognised objects and classes. However, before the AI-based model can be used productively to recognise and classify any image data, its performance must first be tested. This is done using a two-stage evaluation. The first comprises a generic evaluation undertaken during training on a test data set, while the second involves a manual verification of the results by trained persons. Fig. 3 shows an example of the user interface for verifying the object data. Any inaccuracies in the classification or incorrect recognition of infrastructure elements are thus uncovered and the correctly identified images are fed back into the model during a new training run. This makes it possible to continuously improve the model and increase the recognition reliability. Another example of the verification of object recognition is shown in fig. 4, this time under unfavourable ambient light conditions.

The recorded laser profile data is also analysed for object recognition in order to check the plausibility of the image rec-

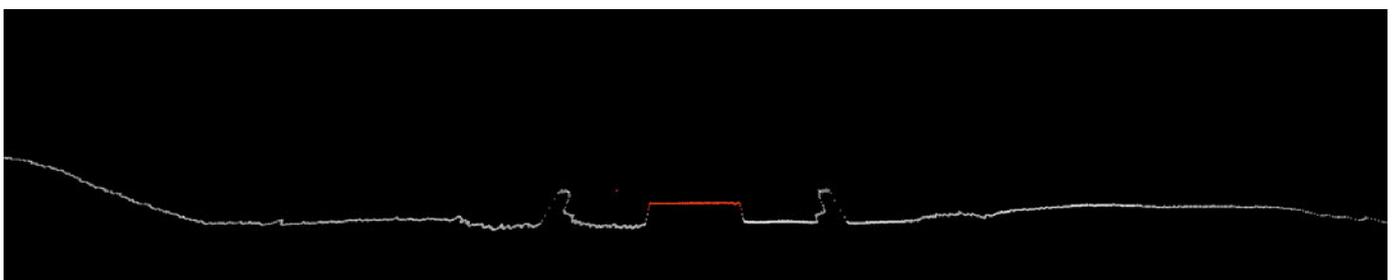


Bild 5: Beispiel für Objektdetektion einer Eurobalise in Laserprofilen

Fig. 5: An example of the object detection of a Eurobalise in laser profile data

Quelle / Source: Nextrail GmbH

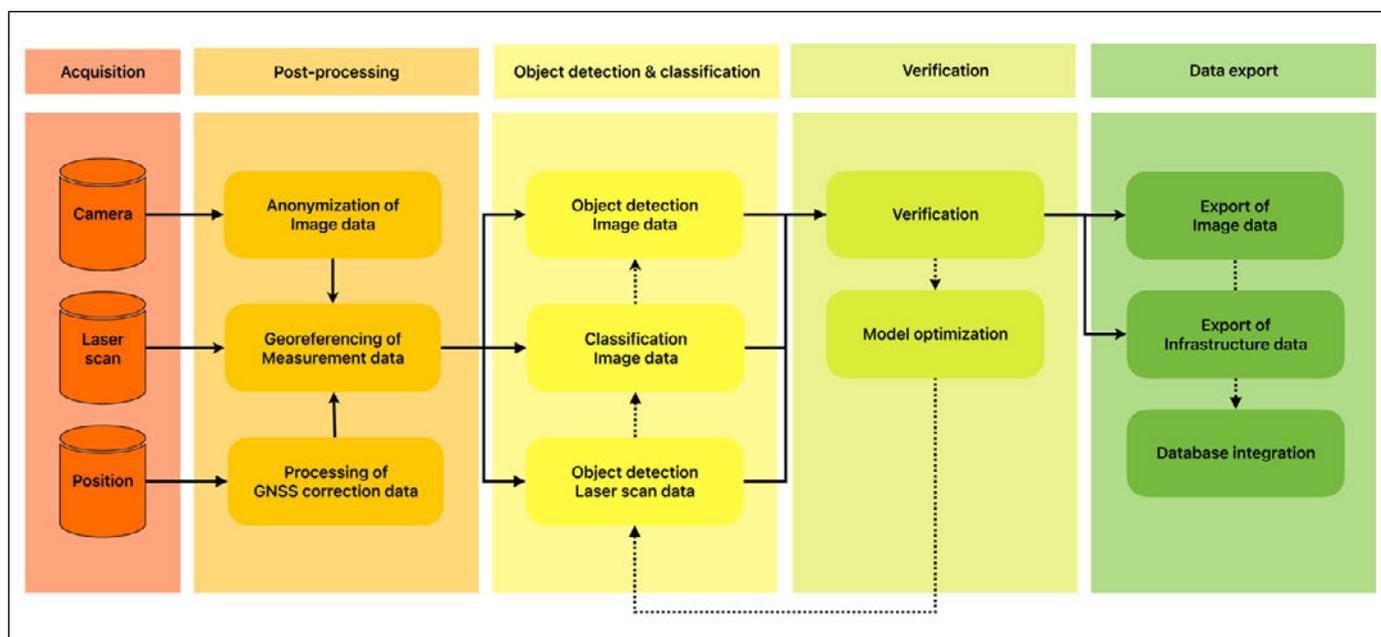


Bild 6: Prozessübersicht Auswertung der Erfassungsdaten

Fig. 6: A process overview of the evaluation of the acquisition data

Quelle / Source: Nextrail GmbH

Die aufgezeichneten Laserprofilen werden ebenfalls für die Objekterkennung ausgewertet, um die Ergebnisse der Bildererkennung zu plausibilisieren bzw. die Erkennbarkeit von Objektklassen zu verbessern, die in den Bilddaten nur schwer zu identifizieren sind (z. B. Achszähler). Abmessungen und Geometrien von bestimmten Objekten können im Laserscan automatisiert ausgewertet werden, wodurch ein direkter Vergleich bekannter Objekttypen möglich wird. Bild 5 zeigt eine automatisch erkannte Eurobalise in einem Laserscanprofil. Der gesamte Prozess ist in Bild 6 schematisch dargestellt.

4 Erfassungsdaten richtig in Wert setzen

Der Liefergegenstand der Erfassung besteht aus zwei Teilen. Zum einen wurden Bilder in zwei verschiedenen Perspektiven im Abstand von zwei Metern für alle befahrenen Strecken des ODT geliefert. Zum anderen wurden Metadaten generiert, die die Geokoordinaten der Bilddaten sowie die erkannten Infrastrukturelemente und Streckeneigenschaften enthalten. Nach der Erfassung und Auswertung des ODT werden die Informationen nutzerfreundlich zugänglich gemacht. Geographische Informationssysteme (GIS) bieten hierfür vielfältige Möglichkeiten. Eine naheliegende Variante ist die Darstellung ausgewählter Objekte in einer Karte, wie in Bild 7 gezeigt. Darüber hinaus können die erfassten Bilder georeferenziert in die GIS-Umgebung eingefügt werden, um eine virtuelle Begehung der Strecke zu erleichtern und dem Nutzer bei Bedarf zusätzliche Informationen zu liefern. Das DZSF betreibt bereits eine umfassende Geodatenbank für verschiedene Anwendungsfälle, die durch die erfassten Daten erweitert wird, um die Durchführung zukünftiger Forschungsprojekte optimal zu unterstützen. Hierzu werden auch Potenziale zur Erweiterung der Erfassungsdaten identifiziert und umgesetzt.

5 Fazit

Mit der umfangreichen Erfassung von Infrastrukturdaten im ODT konnte gezeigt werden, dass auch große Bilddatenmengen innerhalb kurzer Zeit dank eines flexiblen Messsystems effizient aufgenommen und bezüglich unterschiedlicher Parameter für Ei-

gnitionsergebnisse und verbessern die Fähigkeit, Objektklassen zu erkennen, die in den Bilddaten schwer zu identifizieren sind (z. B. Achszähler). Die Dimensionen und Geometrien bestimmter Objekte können automatisch im Laserscan analysiert werden, was einen direkten Vergleich mit beliebigen bekannten Objekttypen ermöglicht. Bild 5 zeigt eine automatisch erkannte Eurobalise in einem Laserscanprofil. Der gesamte Prozess ist in Bild 6 schematisch dargestellt.

4 Generating value out of the acquired data

The acquisition deliverable consists of two parts. On the one hand, the images have been supplied in two different perspectives at intervals of two metres for all the routes travelled on the ODT. Secondly, metadata containing the geocoordinates of the image data, as well as the recognised infrastructure elements and route characteristics, has also been generated. Once the ODT has been captured and analysed, the information is made accessible in a user-friendly way. Geographical information systems (GIS) offer a wide range of options for this. One obvious option involves visualising selected objects on a map, as shown in fig. 7. In addition, the captured and georeferenced images can also be inserted into the GIS environment to facilitate a virtual tour of the route and provide the user with additional information if required. The DZSF already operates a comprehensive geodatabase for various applications, which will be expanded with the captured data in order to optimally support the realisation of any future research projects. To this end, the potential for further expanding the collected data is also being identified and realised.

5 Conclusion

The extensive acquisition of infrastructure data at the ODT has made it possible to show that even large amounts of image data can be efficiently recorded and analysed with regard to various parameters for railway applications within a short period of time thanks to a flexible measurement system. This



Bild 7: Mögliche Darstellung der Ergebnisse in einer GIS-Software

Fig. 7: A possible visualisation of the results in a GIS software

Quelle / Source: Nexttrail GmbH, Karte / Map © OpenStreetMap.org contributors

senbahnanwendungen analysiert werden können. Dies bietet die Grundlage für eine optimierte Durchführung von zukünftigen Forschungsprojekten in dieser Domäne. Eine Erweiterung der Auswertung um zusätzliche Parameter für bislang noch nicht betrachtete Anwendungsfälle ist ebenso möglich wie die Wiederholung der Erhebung auf ausgewählten Streckenabschnitten, um Veränderungen der Infrastruktur oder der Umgebung zu dokumentieren. Abschließend können die Ergebnisse in einer GIS-Software, auch in Kombination mit anderen Medien, anschaulich visualisiert und der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden. ■

provides the basis for the optimised implementation of future research projects in this domain. It is also possible to extend the analysis to include any additional parameters for applications that have not yet been considered and to repeat the survey on selected track sections in order to document any changes in the infrastructure or the environment. Finally, the results can also be clearly visualised in GIS software, including in combination with other media, and made available to the public. ■

AUTOREN | AUTHORS

Maximilian Braun

Systemingenieur / System engineer

Nexttrail GmbH

Anschrift / Address: Unter den Linden 21, D-10117 Berlin

E-Mail: maximilian.braun@nexttrail.com

Alexander Wolf

Railway Consultant

Nexttrail GmbH

Anschrift / Address: Unter den Linden 21, D-10117 Berlin

E-Mail: alexander.wolf@nexttrail.com

Dr.-Ing. Benedikt Wenzel

Fachbereichsleiter Railway Data, Mitglied der Geschäftsleitung /

Head of Railway Data, Member of the Executive Board

Nexttrail GmbH

Anschrift / Address: Unter den Linden 21, D-10117 Berlin

E-Mail: benedikt.wenzel@nexttrail.com

Jonathan Günther

Fachbereich Strategie, Referent für Testfelder, Erprobungsträger

und Forschungsk Kooperationen /

Special field „strategy“, consultant for test fields, test set-ups

and research cooperations

Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt

Anschrift / Address: August-Bebel-Straße 10, D-01219 Dresden

E-Mail: guentherj@dzsf.bund.de



Bleiben Sie in der Spur!

Mit dem Newsletter von

Eurail
press

**Jetzt
anmelden!**

[www.eurailpress.de/
anmeldung](http://www.eurailpress.de/anmeldung)

On-board-Fahrzeugortung mit GNSS und digitalen Karten im Projekt EGNSS MATE

On-board vehicle localisation with GNSS and map data in the EGNSS MATE project

Michael Roth | Judith Heusel | Keivan Kiyandar | Sebastian Ohrendorf-Weiss | Andreas Wenz | Paulo Mendes | Nikolas Dütsch | Alice Martin

Der Beitrag stellt das Projekt EGNSS MATE vor, das fahrzeugseitige GNSS-, Multi-Sensor- und kartengestützte Lokalisierung für das European Train Control System (ETCS) untersucht. Die Motivation für die Lokalisierung mit Fahrzeugsensorik, die umfangreichen Projektdaten, die Lokisierungsalgorithmen und spezielle GNSS-Themen werden beschrieben.

1 Einleitung

Positions- und Geschwindigkeitsinformationen sind für das Europäische Zugsicherungssystem (ETCS) des Europäischen Eisenbahnverkehrsleitsystems (ERTMS) von entscheidender Bedeutung [1]. Die genaue und zuverlässige Lokalisierung von Fahrzeugen im Schienennetz ist eine wichtige Voraussetzung für den Moving-Block-Betrieb (Fahren im wandernden Raumabstand) und andere Anwendungsfälle, die die Streckenkapazitäten erhöhen und die Wettbewerbsfähigkeit des klimafreundlichen Bahnsektors steigern. Verfügbare infrastrukturbasierte Lokalisierungslösungen [2] sind mit hohen Kosten und erheblichem Wartungsaufwand für die Infrastrukturbetreiber verbunden, insbesondere in großen Eisenbahnnetzen. Andererseits sind fahrzeugseitige Sensoren und GNSS-Technologie (GPS, Galileo usw.) prinzipiell verfügbar und bieten im Schienenverkehr ein ebenso großes Potenzial wie in anderen Bereichen. Weiterhin können digitale Karten dazu beitragen, die auf das Gleis beschränkte Fahrzeugbewegung zu nutzen. Diese Tatsachen motivieren die Untersuchung, Entwicklung und Erprobung von GNSS-, Multi-Sensor- und kartengestützten On-board-Lokalisierungslösungen im Rahmen des EGNSS-MATE-Projekts (Bild 1). EGNSS MATE (European GNSS based Map Assisted Train localisation for ERTMS) [3] ist ein Kooperationsprojekt zwischen der Schweizerische Bundesbahnen AG (SBB), der Industrianlagen-Betriebsgesellschaft mbH (IABG) und dem Institut für Verkehrssystemtechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR). Die Partner setzen sich aus relevanten Akteuren zusammen: SBB als großer Eisenbahn- und Infrastrukturbetreiber, IABG als GNSS- und Testunternehmen in der Positioning, Navigation and Timing (PNT)-Industrie und das DLR als anwendungsorientierte ingenieurwissenschaftliche Forschungseinrichtung im Verkehrs- und Eisenbahnsektor. EGNSS MATE wird von der ESA im Rahmen des NAVISP-Programms (Element 2) [4] finanziert. Das Projekt ist Anfang 2023 angelaufen und soll Anfang 2025 abgeschlossen werden. Die Beiträge von EGNSS MATE reichen von der Untersuchung fortgeschrittener GNSS-Themen und deren Potenzial im Bahnbereich bis hin zu digitalen Karten und deren Integration in GNSS- und Multi-Sensor-Lokisierungsalgorithmen. Alle Entwicklungen basieren auf fahrzeuggetragenen SBB-Systemen, die die relevanten GNSS-

This article introduces the EGNSS MATE project that is contributing to On-board GNSS, multi-sensor and map-supported localisation for European Train Control System (ETCS). Details are given with regard to the motivation for On-board localisation, the extensive project data, the localisation algorithm development and specific GNSS topics.

1 Introduction

Position and velocity information is vital for the ETCS within the European Rail Traffic Management System (ERTMS) [1]. The accurate and reliable localisation of vehicles in the railway network is a key requirement for moving block operation and other use cases that increase line capacities and make the climate-friendly rail sector more competitive. Available infrastructure-based localisation solutions [2] come at high costs and considerable maintenance efforts for the infrastructure operators, especially in large railway networks. On the other hand, On-board sensors and GNSS technology (Global Navigation Satellite Systems – GPS, Galileo, etc.) are readily available and are showing as great potential in the railway industry as in other domains. Furthermore, digital maps can help exploit the vehicle motion that is constrained to the railway network. These facts have motivated the investigation, development and testing of GNSS multi-sensor, map-supported, On-board localisation solutions within the EGNSS MATE project (fig. 1). EGNSS MATE (European GNSS based Map Assisted Train localisation for ERTMS) [3] is a collaborative project between the Swiss Federal Railways (SBB), Industrianlagen-Betriebsgesellschaft mbH (IABG), and the Institute of Transportation Systems at the German Aerospace Center (DLR). The partners comprise relevant stakeholders, with SBB as a large railway and infrastructure operator, IABG as a GNSS and testing company in the positioning, navigation and timing (PNT) industry and DLR as a technology-driven research institution within the transportation and railway sector. EGNSS MATE is funded by the ESA within the NAVISP Program (Element 2) [4]. The project started in early 2023 and is planned to conclude in early 2025. The contributions of EGNSS MATE range from the investigation of advanced GNSS topics and their potential in the rail domain to digital map data and its integration into GNSS and multi-sensor localisation algorithms. All the developments are based on SBB On-board systems that provide the relevant GNSS and sensor data. The localisation algorithms are prepared for open-source publication and are being integrated into an SBB backend system for testing on large scale datasets.



Bild 1: Das Projekt EGNSS MATE untersucht die Ortung von Zügen.

Fig. 1: The EGNSS MATE project investigates train localisation.

Quelle / Source: SBB

und Sensordaten liefern. Die Lokalisierungsalgorithmen werden als Open-Source-Veröffentlichung vorbereitet und zudem in ein SBB-Backend-System integriert, um sie an großen Datensätzen zu testen.

2 Architekturaspekte

EGNSS MATE baut auf aktuellen Entwicklungen im Eisenbahnsektor auf, einschließlich der OCORA-Referenzarchitektur (Open CCS (Control Command and Signalling) On-board Reference Architecture) [5]. Konkret wird die On-board-Lokalisierung (LOC-OB) [6] von OCORA betrachtet. Die LOC-OB-Architektur umfasst fahrzeugseitige Sensoren und Systeme sowie Algorithmen für deren Verarbeitung. Die LOC-OB-Hardware kann GNSS-Empfänger und -Antennen, inertielle Messeinheiten (IMU – Inertial Measurement Units), Geschwindigkeitssensoren und mehr enthalten. Die algorithmische Verarbeitung ihrer Daten innerhalb von LOC-OB liefert absolute Positionsinformationen und andere kinematische Größen. Somit geht LOC-OB über die Odometrie hinaus, die bereits in ETCS [1] eingesetzt wird. LOC-OB als eigenständiges On-board-Modul kann im Gegensatz zur Lokalisierung als Teil eines ETCS-On-board-Monolithen die Entwicklung entsprechender Branchenlösungen vereinfachen. Die Möglichkeit, aus einer Reihe von LOC-OB-Produkten zu wählen, kann die Anschaffung und den Betrieb für Bahnbetreiber wirtschaftlicher machen.

Das Projekt folgt der LOC-OB-Idee. Die verwendete SBB-Hardware besteht aus GNSS, IMU und bahnspezifischen Geschwindigkeitssensoren, die auf Radumdrehungen und optischen Prinzipien basieren. Ihre Daten werden an einen Lokalisierungsalgorithmus weitergeleitet, der Positions- und Geschwindigkeitsschätzungen in vereinbarten Nachrichtenformaten berechnet. Eine weitere Architekturentscheidung ist die Verwendung von Kartendaten in den Lokalisierungsalgorithmen. Die Kartendaten umfassen sowohl Gleisgeometrie- als auch Topologieinformationen.

2 Architecture considerations

EGNSS MATE builds on current developments in the railway sector, including the Open CCS (Control Command and Signalling) On-board Reference Architecture (OCORA) [5]. It specifically addresses the Localisation On-board (LOC-OB) [6] within OCORA. The LOC-OB architecture comprises On-board sensors and systems as well as the algorithms for processing them. LOC-OB On-board hardware can contain GNSS receivers and antennas, inertial measurement units (IMU), velocity sensors and more. The algorithmic processing of the data within LOC-OB provides absolute position information and several other kinematic quantities. Hence, LOC-OB goes beyond the odometry already employed in ETCS [1]. LOC-OB can simplify the development of respective industry solutions as an independent On-board module in contrast to localisation as part of an ETCS On-board monolith. The ability to select from a range of LOC-OB products can render acquisition and operation more economical for railway operators.

The project follows the LOC-OB concept. The employed SBB hardware set-up comprises GNSS, IMU and railway-specific velocity sensors based on wheel rotation and optical principles. Their data is provided to a localisation algorithm that computes position and velocity estimates in agreed message formats. A separate architecture decision involves the use of map data in the localisation algorithms. The map data comprises both track geometry and topology information.

3 SBB measurement and map data

A certain highlight of the EGNSS MATE project is the fact that all the developments are supported by actual SBB data. This includes several different sources.

3 SBB-Fahrzeugdaten und die digitale Karte

Ein besonderes Merkmal des EGNSS-MATE-Projekts ist, dass alle Entwicklungen durch aktuelle SBB-Daten unterstützt werden. Dazu gehören mehrere verschiedene Quellen.

Erstens stellt SBB digitale Kartendaten für das gesamte Streckennetz mit mehr als 66 000 Gleisabschnitten und einer Gesamtlänge von mehr als 10 000 km zur Verfügung. Diese Informationen wurden aus den Daten abgeleitet und umfassen z.B. auch Rangierbahnhöfe. Für jeden Gleisabschnitt sind geografische Messpunkte mit einer räumlichen Auflösung von 10 Metern oder besser verfügbar. Informationen zur Gleisgeometrie (Überhöhung, Neigung, Azimut) sind für jeden Messpunkt enthalten.

Zweitens hat die SBB ihren Telekommunikations-Messwagen mit einer umfangreichen Hardwareausstattung versehen. Diese umfasst ein Sensor-Set-Up (tactical-grade) für die in EGNSS MATE entwickelten Lokalisierungsalgorithmen und ein zweites Set-Up mit präziseren Sensoren (navigation-grade), das für die Berechnung einer Grundwahrheit verwendet wird. Ersteres besteht aus einem handelsüblichen GNSS-Empfänger, einer MEMS IMU, einem Radtachometer und einem optischen Geschwindigkeitsmesser. Letzteres besteht aus einem weiteren GNSS-Empfänger (unterstützt durch RTK-GNSS), einer IMU mit Ringlaser-Gyroskop und einem Radtachometer, die alle mit einem kommerziellen Sensorfusionsalgorithmus integriert sind, um präzise Positionsdaten zu liefern. Außerdem steht ein Eurobalise-Lesegerät für die Validierung zur Verfügung. Das Fahrzeug dient in erster Linie der Überwachung von Mobilfunksystemen auf dem Schweizer Schienennetz. Es deckt dieses Netz mindestens einmal im Jahr ab, was die Erfassung umfangreicher Datensätze über ein breites Spektrum unterschiedlicher Umwelt- und Betriebsszenarien ermöglicht.

Drittens verfügt die SBB über Fahrstraßeninformationen für die Zugbewegungen. In einem aufwendigen Verfahren werden die Positionsdaten der Präzisionshardware mit Balisendaten, der digitalen Karte und den Fahrstraßen abgeglichen, um die Grundwahrheit zu erhalten. Zu den einzelnen Schritten gehören beispielsweise das Cross-Matching der empfangenen Balisennachrichten mit den Positionen zu den jeweiligen Zeitstempeln. Weiterhin werden die relativen Entfernungen zwischen den Balisen mit den Entfernungen in der Karte abgeglichen.

Zudem werden besondere Messkampagnen mit dem Fahrzeug durchgeführt, um experimentelle Daten aufzuzeichnen und spezifische Szenarien zu testen, die im regulären Betrieb nicht abgedeckt werden. Eine dreitägige Kampagne im November 2023 lieferte 18 Stunden Daten über 1 170 Gleiskilometer (Bild 2). Die Aufnahmen umfassen anspruchsvolle Umgebungen für den GNSS-Empfang, wie die Lötschberglinie in den Schweizer Alpen und städtische Umgebungen in der Nähe von Lausanne. Außerdem wurde Rangierbetrieb im Bahnhof von Brig durchgeführt. Für die kartengestützte Ortung ist das Rangieren eine besondere Herausforderung, da Weichen in hoher Frequenz passiert werden. Eine weitere Testkampagne findet im Mai 2024 statt, um die Anfälligkeit der entwickelten Lokalisierungslösung für absichtliche GNSS-Störungen und Spoofing-Angriffe zu testen.

4 Lokalisierungsalgorithmen und Software

Die Schätzung der Position und Geschwindigkeit eines Schienenfahrzeugs mithilfe von On-board-Sensorik ist in vielerlei Hinsicht eine große Herausforderung. Einerseits werden im Eisenbahn- und ETCS-Kontext sehr strenge Anforderungen an die Verfügbarkeit und Genauigkeit der Ortung gestellt. Es bedarf einer sorgfältigen

Firstly, digital map data is provided by SBB for its entire network comprising more than 66,000 track sections at a total length of more than 10,000 km. This information has been derived from the data and also includes, for instance, the shunting yards. Geographic locations are available for each track with a spatial resolution of 10 meters or below. Track geometry information (cant, gradient, azimuth) is given for each location.

Secondly, SBB has installed a rich hardware set-up on its telecommunications measurement wagon. This includes a tactical-grade sensor set-up for the localisation algorithms developed within EGNSS MATE and a second more precise navigation-grade sensor set-up that is used for ground truth computation. The tactical-grade sensor set-up comprises a commercial GNSS receiver, a MEMS IMU, a wheel tachometer and an optical speedometer. The navigation-grade sensor set-up consists of another commercial GNSS receiver (aided by RTK-GNSS), a ring-laser gyro based IMU, and a wheel tachometer, all integrated with a commercial sensor fusion algorithm to provide high-precision position data. Furthermore, a Eurobalise reader is also available for validation. The vehicle is primarily used to monitor mobile communication systems on the Swiss rail network. It covers this network at least once a year, which facilitates the collection of large datasets over a wide range of different environmental and operating scenarios.

Thirdly, SBB has routing data for most of its train movements. The high-precision recordings of the navigation-grade set-up are validated in an elaborate process against balise, map and route information in order to obtain ground truth data. The individual steps include, for instance, cross-matching the received balise messages and the output of high-precision positions at the respective timestamps. Moreover, the distances between the balises are validated against the distances in the map.

Finally, dedicated measurement campaigns are performed with the vehicle to record experimental data and test for any specific scenarios not covered in regular operations. A three-day campaign in November 2023 provided 18 hours of data covering 1,170 km of tracks (fig. 2). The recordings include challenging environments for GNSS reception, such as the Lötschberg Line in the Swiss Alps, and urban environments close to Lausanne. In addition, shunting was also performed at the Brig station. Shunting is especially challenging for map-supported localisation since switch points are passed in high frequencies. Another test campaign is planned for May 2024 to test for any vulnerabilities in the developed localisation solutions with regard to GNSS jamming and spoofing attacks.

4 Localisation algorithms and software

Estimating the position and velocity of a rail vehicle from On-board sensor data is a challenging topic in many aspects. On the one hand, the railway and ETCS contexts dictate immensely strict requirements for localisation availability and accuracy. Careful risk assessment, systematic testing and validation and certification are needed. On the other hand, the available (and economically viable) On-board hardware provides a range of technical challenges and limitations. These include GNSS signal reception issues, IMU bias and calibration errors and slip and slide in wheel rotation as examples of sensor-specific phenomena. Moreover, the combination of multiple streams of sensor data with varying sampling rates and intermediate outages (especially GNSS) must be performed in a robust, traceable and modular manner.

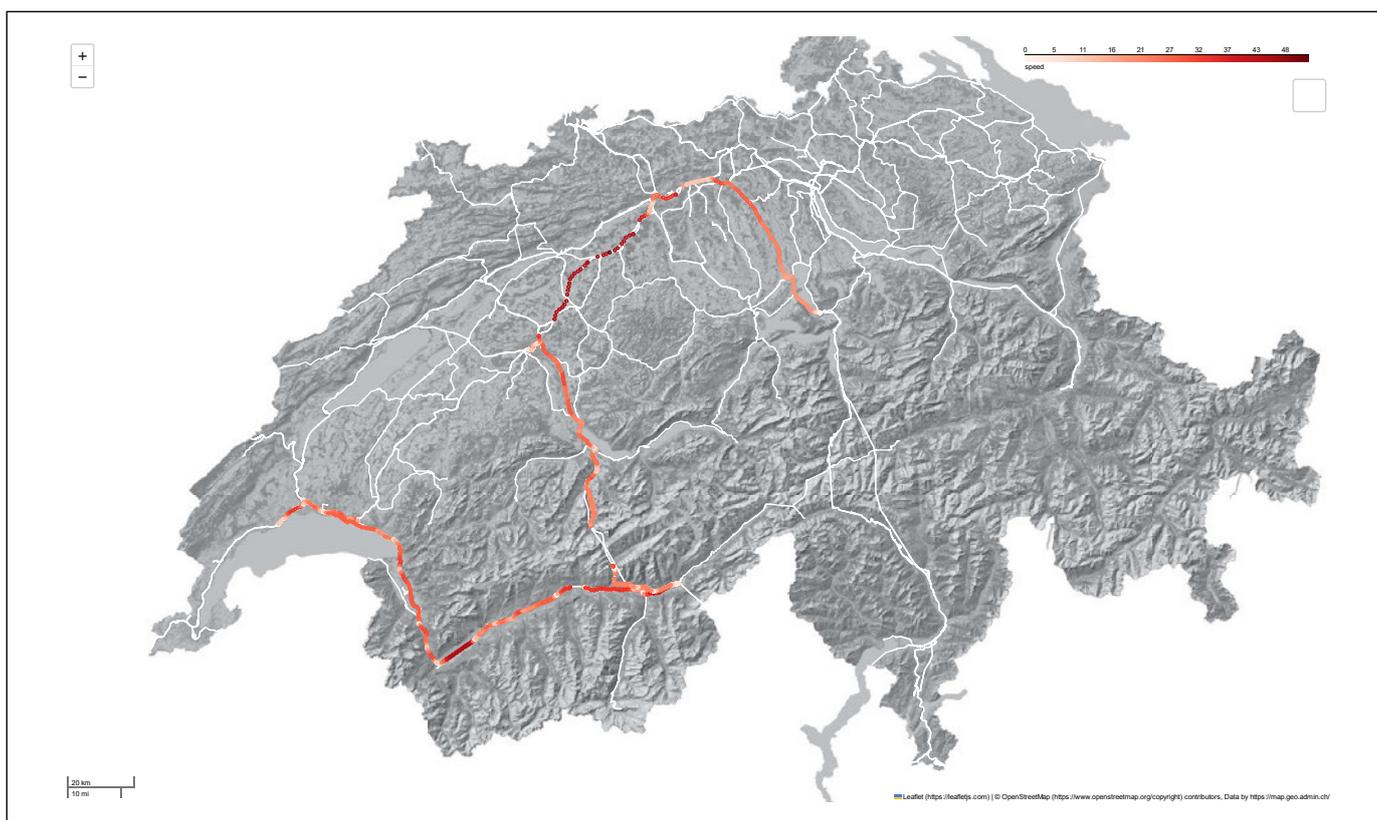


Bild 2: Messdaten einer Kampagne im November 2023 auf dem SBB-Schiennetz

Fig. 2: Measurement campaign data from November 2023 on the SBB railway network

Quelle / Source: DLR, Hintergrundkarte / background map <https://map.geo.admin.ch/>

tigen Risikobewertung, systematischer Tests und Validierungen sowie einer Zertifizierung. Andererseits zeigt die verfügbare (und wirtschaftlich vertretbare) On-board-Hardware eine Reihe von technischen Herausforderungen und Einschränkungen. Dazu gehören Probleme beim GNSS-Signalempfang, IMU-Kalibrierfehler und Schlupf und Rutschen bei der Messung von Radumdrehungen. Weiterhin muss die Kombination mehrerer Sensordatenströme mit unterschiedlichen Abtastraten und zwischenzeitlichen Ausfällen (insbesondere GNSS) auf robuste, nachvollziehbare und modulare Weise durchgeführt werden.

EGNSS MATE konzentriert sich auf die technischen Herausforderungen und entwickelt Lokalisierungsalgorithmen für die systematische Kombination von Sensordaten. Es wird eine Sensorfusionsperspektive angenommen, mit Zustandsraummodellen und Kalman-Filtern (KF) als Werkzeugen [7, 8]. Dies gewährleistet Modularität in Bezug auf die eingesetzten Sensoren und ermöglicht eine konstante Ausgaberate unabhängig von den einzelnen Sensorraten. Darüber hinaus werden Unsicherheiten in allen Variablen (Sensormessungen, Schätzungsergebnisse usw.) systematisch behandelt. Die Position wird im Zustandsvektor als Distanz entlang eines Gleisabschnitts im Eisenbahnnetz eingebunden. Diese Wahl ermöglicht es, das Wissen über die gleisgebundene Fahrzeugbewegung zu nutzen und so Schätzfehler zu reduzieren. Es erfordert jedoch die enge Einbindung von Kartendaten in den Lokalisierungsalgorithmus.

Der Ansatz von EGNSS MATE nutzt die Gleisgeometrien und die Topologie der digitalen Karte. Eine Distanzschätzung auf einem Gleisabschnitt kann mithilfe der Streckengeometrie auf eine globale 2D- oder 3D-Position abgebildet werden. Dies ermöglicht den Vergleich mit GNSS-Messdaten und die Verarbeitung in einem KF-Mess-Update. Pfade werden als Abfolge mehrerer ver-

EGNSS MATE concentrates on the technical challenges and contributes localisation algorithms for the systematic combination of sensor data. A sensor fusion perspective is assumed with state space models and Kalman filters (KF) at its core [7, 8]. This ensures modularity with regard to the employed sensors and allows for a constant output rate regardless of the individual sensor input rates. Furthermore, uncertainties in all variables of interest (sensor measurements, estimation results, etc.) are treated systematically. The position is represented as a distance along a path in the railway network in the employed state vector. This choice helps to exploit the knowledge about the track-bound vehicle motion and reduces any estimation errors. However, it requires the tight integration of the map data into the localisation algorithm.

The approach in EGNSS MATE makes use of the track geometries and the topology of the digital map. An on-track distance estimate on a given track can be mapped to a 2D or 3D global position using the track geometry. This facilitates a comparison with the GNSS measurement data in a KF measurement update. Railway paths are introduced as sequences of several adjacent track sections that can be treated in the same way as a track (simply put, a long line geometry). The necessary extension of the railway paths (as the vehicle traverses the network) is achieved using topology information (which track can be visited next after the current track).

A critical point in this regard concerns the fact that the railway path is not known in EGNSS MATE. Therefore, several railway path hypotheses and on-path KF are considered in parallel within a localisation filter bank. Each KF corresponds to a railway path hypothesis. All the KF receive the same sensor data. New railway path hypotheses with associated KF are

bundener Gleisabschnitte eingeführt, die wie ein Gleis behandelt werden können (einfach ausgedrückt, eine lange Liniengeometrie). Die notwendige Erweiterung von Pfaden (beim Befahren des Netzes) wird mithilfe der Topologiedaten umgesetzt (welche Gleisabschnitte folgen auf das aktuell befahrene Gleis usw.).

Ein kritischer Punkt in diesem Zusammenhang ist, dass der befahrene Pfad in EGNSS MATE nicht bekannt ist. Daher werden mehrere Pfadhypothesen und pfadgebundene KF parallel in einer Lokalisierungfilterbank betrachtet. Jedes KF entspricht einer Pfadhypothese. Alle KF erhalten die gleichen Sensordaten. Neue Pfadhypothesen mit zugehörigen KF werden der Filterbank hinzugefügt, sobald sich das Fahrzeug einer Weiche nähert. Die Güte oder Performance aller Pfadhypothesen in der Filterbank wird anhand der Residuen der jeweiligen KF überwacht. Die Intuition dahinter ist, dass falsche Pfadhypothesen die Messungen nicht so gut widerspiegeln wie der korrekte Pfad. KF und Pfadhypothesen geringer Güte werden schließlich aus der Filterbank entfernt.

Ein vereinfachtes Schema des Filterbank-Lokalisierungsalgorithmus ist in Bild 3 dargestellt. Illustriert in grau sind die statischen Eingabedaten, die beim Systemstart geladen werden (Kartendaten und Konfiguration des Algorithmus). Die Datenströme verschiedener Sensoren und Systeme sind in orange dargestellt. Auf der Grundlage der Konfiguration und der ersten Messungen wird die Lokalisierungfilterbank mit wahrscheinlichen Anfangspfadhypothesen initialisiert (grauer Block). Die folgende Iteration umfasst die blauen Blöcke. In den Phasen des Pfadmanagements werden die Pfadhypothesen durch Hinzufügen von Gleisen erweitert (dies kann zu neuen Hypothesen führen) und durch Entfernen von Gleisen verkürzt (dies vermeidet unnötig lange Pfade). Die Verarbeitung der Messungen erfolgt dann mit KF-Zeit- und KF-Mess-Updates für jedes Filter. Jedes KF gibt seine Messresiduen zur Gütebewertung an die Filterbank. Schließlich werden die Ausgangsdaten der Lokalisierung aus den KF in der Filterbank berechnet.

EGNSS MATE entwickelt nicht nur Algorithmen, sondern auch Open-Source-Software. Der Code für die Lokalisierung ist in Python implementiert und wird am Ende des Projekts veröffentlicht.

5 GNSS-spezifische Themen

Die Nutzung von GNSS im Eisenbahnbereich ist ein Thema mit viel Potenzial, aber die Risiken müssen gut verstanden und schließlich beherrscht werden. GNSS-Signale werden von Satelliten im Weltraum gesendet und von den GNSS-Antennen auf Fahrzeugen empfangen. Viele Schienenumgebungen schwächen oder verhindern den Empfang von GNSS-Signalen. Einige Beispiele sind Tun-

added to the filter bank whenever the vehicle approaches a switch point. The performance of all the path hypotheses in the filter bank is monitored using the measurement residuals from the respective KF. The intuition behind this lies in the fact that the wrong railway path hypotheses do not represent the measurements as well as the correct path. Any KF and path hypotheses that do not perform well are eventually dropped from the filter bank.

A simplified schematic of the filter bank localisation algorithm is given in fig. 3. It shows the static input data loaded at system start-up in grey (map and algorithm configuration data). The streams of different On-board sensor and system data are shown in orange. The localisation filter bank is initialised (grey block) with the likely initial railway paths based on the configuration and the first measurements. The subsequent iteration comprises the blue blocks. In railway path management stages, the paths are extended by appending tracks (which can result in new hypotheses) and shortened by removing tracks (which avoids unnecessarily long paths). The processing of the measurements is then achieved using KF time and measurement updates for each filter. Each KF outputs its measurement residuals to the filter bank for performance assessment. Finally, the localisation output is computed from the KF in the filter bank.

EGNSS MATE is not only developing the algorithms, but also the localisation software for open-source publication. All the code is implemented in Python and will be made available at the end of the project.

5 Specific GNSS topics

The use of GNSS in the railway domain is a topic with much potential, but its risks must be well-understood and eventually mitigated. GNSS signals are transmitted by satellites in space and received by On-board GNSS antennas. Many rail environments weaken or prevent the reception of GNSS signals. Obvious examples are tunnels, urban, indoor or underground stations. In addition, there is also the less predictable risk of deliberate radio-frequency interference (RFI) affecting the GNSS signals used for On-board localisation.

Deliberate interference is now a significant problem for civilian GNSS applications and not only for the armed forces. Devices that disrupt GNSS receivers, such as so-called Personal Protection Devices (PPD), are available on the market at very low prices and therefore constitute a potential threat [9]. EGNSS MATE addresses the jamming and spoofing types of

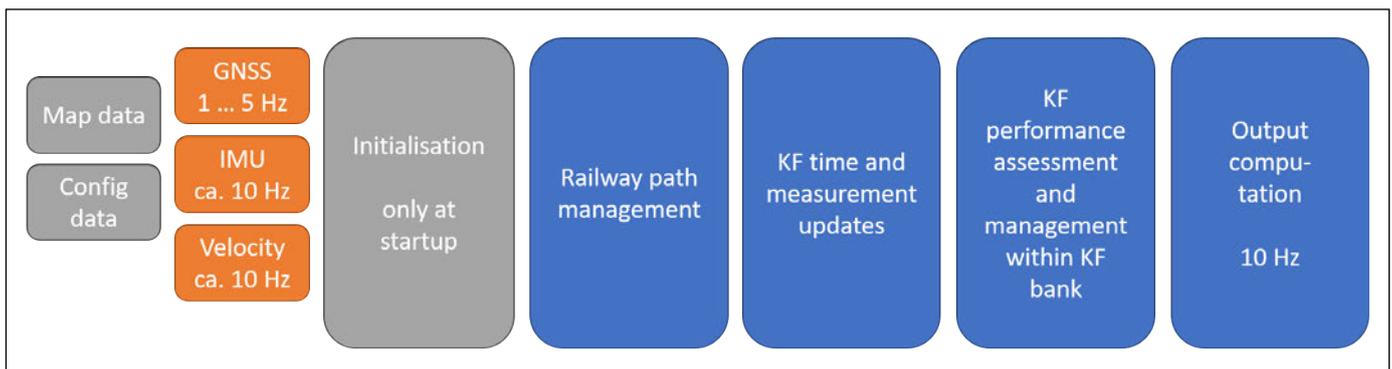


Bild 3: Struktur der KF-Bank für die Lokalisierung

Fig. 3: Structure of the localisation KF bank

Quelle / Source: DLR

nel, städtische Bereiche, überdachte oder unterirdische Bahnhöfe. Darüber hinaus besteht das Risiko von Radio-Interferenz-Störungen (RFI) der GNSS-Signale.

Absichtlich verursachte Störungen sind heute nicht nur für die Streitkräfte, sondern auch für zivile GNSS-Anwendungen ein großes Problem. Geräte, die GNSS-Empfänger stören (sogenannte Personal Protection Devices, kurz PPD) sind zu niedrigen Preisen auf dem Markt erhältlich und stellen eine potenzielle Bedrohung dar [9]. EGNSS MATE befasst sich mit den Inferenzarten Jamming und Spoofing. Jamming beschreibt eine Bedrohung, bei der ein Angreifer absichtlich ein Störsignal höherer Leistung in relevanten Frequenzbändern sendet. GNSS-Nutzer in der Umgebung können so die echten GNSS-Signale nicht mehr empfangen. Unter Spoofing versteht man einen Angriff, bei dem absichtlich gefälschte Satellitensignale an den Empfänger gesendet werden, um so die Berechnung falscher Positions-, Geschwindigkeits- oder Zeitlösungen (PVT – Position, Velocity, Time) zu forcieren. Beide Bedrohungen haben das Ziel, PVT-Lösungen zu degradieren. Jamming zielt auf Verfügbarkeit, Spoofing auf Integrität.

Die Auswirkungen und die Bedeutung des Umgangs mit RFI-Bedrohungen wurden zuvor an RFI-Fällen in der Luftfahrt aufgezeigt. Auch im Bahnbereich gibt es Arbeiten zur Erkennung von GNSS-Störungen [10]. Unseres Wissens gibt es jedoch noch keine groß angelegte statistische Analyse von zeitlich umfassenderen Aufzeichnungen. Ein Ziel von EGNSS MATE ist es daher, umfangreiche GNSS-Datensätze auf Schienenfahrzeugen zu sammeln und sie auf RFI-Ereignisse hin zu analysieren. Analysen von Kampagnendaten aus dem November 2023 zeigen eine hohe Anzahl von RFI-Ereignissen im GNSS L1/E1-Band. Es wurde eine spezielle Testkampagne mit sieben RFI-Szenarien geplant, die im Mai 2024 für verschiedene Störungsprofile (Chirp, angepasste Modulation, Sägezahn-Chirp-Störungen) unter verschiedenen Umwelt- (Stadt, Land) und Betriebsbedingungen (unterwegs, im Stand, beim Rangieren, beim Anfahren) durchgeführt wird.

Zusätzlich zu RFI analysiert EGNSS MATE die Nutzung der neuen Galileo Services HAS und OSNMA für Eisenbahnanwendungen. Der HAS-Dienst bietet eine verbesserte PVT-Lösung, OSNMA eine robuste Maßnahme gegen Spoofing-Angriffe.

inference. Jamming describes a threat in which an entity intentionally tries to prevent a GNSS processing device from receiving satellite signals by transmitting an interfering, higher powered signal in the same radio frequency bands as those used by the GNSS receiver. Spoofing is understood to be a method that intentionally transmits fabricated, fake satellite signals towards the receiver forcing it to calculate erroneous position, velocity, or time (PVT) solutions. Both have the common goal of degrading the PVT solution in terms of its availability (jamming) or integrity (spoofing).

The impact and importance of addressing RFI threats has been demonstrated by RFI cases affecting aeronautical users. Efforts have been made in the railway context with regard to detecting GNSS interference [10]. To our knowledge, though, no large-scale statistical analysis supported by ground-based infrastructure for detecting GNSS interference in the railway domain is yet available. It is an objective of EGNSS MATE to collect real world GNSS data and analyse it in terms of RFI events. Analyses performed on data collected during November 2023 have revealed a high number of RFI events in the GNSS L1/E1 band. A dedicated test campaign of 7 test RFI scenarios has been defined and will be carried out in May 2024 for different interference profiles (chirp, matched modulation and saw-tooth chirp jamming) occurring under different environmental (urban, rural) and operating conditions (en-route, parked stable, shunting, start-up).

In addition to RFI, EGNSS MATE is also analysing the use of the new HAS and OSNMA Galileo services for railway applications. The HAS service provides an improved PVT solution, while OSNMA constitutes a robust measure against spoofing attacks.

6 Conclusion and outlook

Large scale testing of the developed algorithms and specific testing in jamming and spoofing scenarios will be undertaken in autumn this year. We expect to present the full results of the EGNSS MATE project in early 2025. ■

Progress Rail
A Caterpillar Company

MEET US!

Progress Rail
A Caterpillar Company

Progress Rail
A Caterpillar Company

COMMITTED TO SUSTAINABILITY

ECM

Progress Rail
A Caterpillar Company

InnoTrans 2024 | Hall 2.2, Booth 130

6 Fazit und Ausblick

Groß angelegte Tests der entwickelten Algorithmen und spezielle Tests für Störungs- und Spoofing-Szenarien werden im Herbst dieses Jahres durchgeführt. Umfassende Ergebnisse des EGNSS-MATE-Projekts werden Anfang 2025 erwartet. ■

Finanzielle Unterstützung wird durch das ESA NAVISP Element 2 Programm (Activity Code: NAVISP-EL2-131) gewährt, das der Förderung der Wettbewerbsfähigkeit der PNT-Industrie (Positionierung, Navigation und Zeitmessung) gewidmet ist.

Financial support has been provided by the ESA NAVISP Element 2 Programme (Activity Code: NAVISP-EL2-131), which is devoted to support the competitiveness of the PNT (Positioning, Navigation and Timing) industry.

AUTOREN | AUTHORS

Dr. Michael Roth

Wissenschaftlicher Mitarbeiter / *Researcher*
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. / *German Aerospace Center*
Institut für Verkehrssystemtechnik / *Institute of Transportation Systems*
Adresse / *Address*: Lilienthalplatz 7, D-38108 Braunschweig
E-Mail: m.roth@dlr.de

Dr. Judith Heusel

Wissenschaftlicher Mitarbeiterin / *Researcher*
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. / *German Aerospace Center*
Institut für Verkehrssystemtechnik / *Institute of Transportation Systems*
Adresse / *Address*: Lilienthalplatz 7, D-38108 Braunschweig
E-Mail: judith.heusel@dlr.de

Keivan Kiyanfar

Wissenschaftlicher Mitarbeiterin / *Researcher*
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. / *German Aerospace Center*
Institut für Verkehrssystemtechnik / *Institute of Transportation Systems*
Adresse / *Address*: Rutherfordstraße 2, D-12489 Berlin
E-Mail: keivan.kiyanfar@dlr.de

Dr. Andreas Wenz

Technischer Projektleiter Lokalisierung / *Technical Project Manager Localisation*
SBB AG
Infrastruktur-NAT-BST-DEV
Fahrzeugprojekte / *Rolling Stock Projects*
Adresse / *Address*: Hilfikerstraße 3, CH-3000 Bern 65
E-Mail: andreas.wenz@sbb.ch

Sebastian Ohrendorf-Weiss

Projektleiter Lokalisierung / *Project Manager Localisation*
SBB AG
Infrastruktur-NAT-BST-DEV
Fahrzeugprojekte / *Rolling Stock Projects*
Adresse / *Address*: Hilfikerstraße 3, CH-3000 Bern 65
E-Mail: sebastian.ohrendorf-weiss@sbb.ch

Dr. Paulo Mendes

Projektleiter & Analyst GNSS / *Project Manager & Analyst GNSS*
Satellitennavigation / *Satellite Navigation*
IABG mbH
InfoKom/CT20
Adresse / *Address*: Einsteinstraße 20, D-85521 Ottobrunn
E-Mail: silveira-mendes@iabg.de

Dr. Alice Martin

Ingenieurin für Navigation / *Navigation Engineer*
Satellitennavigation / *Satellite Navigation*
IABG mbH
InfoKom/CT20
Adresse / *Address*: Einsteinstraße 20, D-85521 Ottobrunn
E-Mail: martina@iabg.de

Nikolas Dütsch

Ingenieur für Navigation / *Navigation Engineer*
Satellitennavigation / *Satellite Navigation*
IABG mbH
InfoKom/CT20
Adresse / *Address*: Einsteinstraße 20, D-85521 Ottobrunn
E-Mail: duetsch@iabg.de

LITERATUR | LITERATURE

- [1] Schnieder, L.: *European Train Control System (ETCS)*, 3rd ed. Springer Vieweg Berlin, Heidelberg, 2022
- [2] Pacht, J.: *Railway Signalling Principles*, Braunschweig, 2020
- [3] EGNSS MATE Website, Accessed: Apr. 26, 2024. <https://www.dlr.de/en/ts/research-transfer/projects/egnss-mate-map-supported-gnss-localisation-for-european-railways>
- [4] ESA NAVISP Website, Accessed: Apr. 26, 2024. <https://navisp.esa.int/>
- [5] OCORA, Accessed: Apr. 26, 2024. <https://github.com/OCORA-Public/Publications>
- [6] OCORA, *Localisation On-board (LOC-OB)*, OCORA-TWS01-100, Jun. 2023
- [7] Gustafsson, F.: *Statistical Sensor Fusion*. Lund, Sweden: Studentlitteratur, 2010
- [8] Roth, M.; Heusel, J.; Groos, J. C.: "Kartengestützte GNSS/Multi-Sensor-Ortung von Schienenfahrzeugen," *EI – DER EISENBAHNINGENIEUR* 12/2023
- [9] Borio, D.; Dovis, F.; Kuusniemi, H.; Lo Presti, L.: "Impact and Detection of GNSS Jammers on Consumer Grade Satellite Navigation Receivers," *Proceedings of the IEEE*, Jun. 2016
- [10] Vennarini, A.; Coluccia, A.; Gerbeth, D.; Crespillo, O. G.; Neri, A.: "Detection of GNSS Interference in Safety Critical Railway Applications using Commercial Receivers," *Proceedings of the 33rd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2020)*, Sep. 2020

ETCS PKI PoC – Testumgebung für alle betrieblichen Varianten einer europäischen PKI-Infrastruktur

ETCS PKI PoC – a test environment for all the operating variants of a European PKI infrastructure

Johannes Häring | Tobias Wothge | Richard Poschinger | Ernst Kleine | Johannes Küber

Um den europäischen Bahnverkehr zu ermöglichen, ist der sichere Austausch von ETCS-Schlüsseln zwischen Key Management Centres (KMC) erforderlich. Hierfür wurde eine Simulationsumgebung entwickelt, die den Vergleich unterschiedlicher PKI-Architekturen (PKI – Public Key Infrastructure) interaktiv ermöglicht. Die umgesetzte technische Implementierung basiert auf offenen Standards und ist hochautomatisierbar.

1 Kommunikation im Bahnsystem

Das Europäische Zugsicherungs- und Zugsteuerungssystem (ETCS – European Train Control System) ist ein wegweisendes Signal- und Steuerungssystem für Züge, das die Sicherheit, Interoperabilität und Effizienz der verschiedenen europäischen Eisenbahnnetze verbessern soll. Es verwendet fortschrittliche digitale Kommunikations- und Ortungstechnologien, um den Informationsaustausch zwischen Zügen und Leitstellen in Echtzeit zu ermöglichen. Dadurch werden eine präzise Geschwindigkeitsregelung, exakte Bremsvorgänge und die Einhaltung von Signalbefehlen sichergestellt. Allerdings stellt die Gewährleistung des Vertrauens in ETCS eine Herausforderung dar. Aufgrund der starken Abhängigkeit von automatisierten Prozessen sind die Sicherstellung der Nachrichtenintegrität, um unbefugte Manipulationen zu verhindern, und die Überprüfung der Authentizität von Befehlen entscheidende Aspekte, um ein sicheres und zuverlässiges Eisenbahnnetz aufrechtzuerhalten. In dem Artikel „Bahnbetriebliche PKI: Aufbau und Testumgebung für ATO und ETCS“ aus Heft 11/2023 wird bereits beschrieben, wie man dieses Problem mithilfe einer PKI angehen kann. Die Etablierung einer PKI ist eine große Herausforderung und fordert im betrieblichen Kontext enorme Umsetzungsstärke. Besonders die Nutzung einer PKI im internationalen Bahnkontext ist jedoch mit weiteren Herausforderungen verbunden, die durch die ERTMS User Group (EUG) mithilfe der ETCS PKI PoC (PoC – Proof of Concept) Testumgebung aktuell untersucht werden. Eine besondere Herausforderung besteht darin, eine vertrauenswürdige ETCS-Kommunikation über Betreiber- und Ländergrenzen hinweg mittels moderner PKI-Prozesse zu gestalten. Bahnbetreiber können in ihren eigenen Domänen vertrauenswürdige Kommunikation umsetzen, in der Gemeinschaft, über Domänengrenzen hinweg, muss jedoch ein Standard etabliert werden, um diese Kommunikation nachhaltig abzusichern, um Integrität und Authentizität zu gewährleisten. Im Rahmen verschlüsselter Kommunikation mittels Zertifikate, wie es bei einer bahnbetrieblichen PKI der Fall ist, muss vor allem eine organisatorische und domänenübergreifende Lösung definiert werden.

To enable European rail traffic, the secure exchange of ETCS keys between Key Management Centers (KMC) is required. A simulation environment was developed for this purpose that enables an interactive comparison of different PKI (Public Key Infrastructure) architectures. The realised technical implementation is based on open standards and is highly automatable.

1 Communication in the railway system

The European Train Control System (ETCS) is a pioneering signalling and control system for trains that is designed to improve the safety, interoperability and efficiency of the various European rail networks. It uses advanced digital communication and positioning technologies to enable the exchange of information between trains and control centres in real time. This ensures precise speed control, accurate braking and compliance with signalling commands. However, ensuring trust within ETCS constitutes a challenge. The heavy reliance on automated processes means that ensuring message integrity to prevent unauthorised tampering and verifying the authenticity of the commands are critical aspects of maintaining a safe and reliable railway network. The article entitled “Railway PKI: a structure and test environment for ATO and ETCS” from issue 11/2023 has already described how this problem can be tackled with the help of a PKI. Establishing a PKI is a major challenge and requires enormous implementation strength within an operating context. However, the use of a PKI within the international railway context in particular is associated with further challenges that are currently being investigated by the ERTMS User Group (EUG) with the help of the ETCS PKI PoC (PoC – Proof of Concept) test environment. A particular challenge involves designing trustworthy ETCS communication across operators and national borders using modern PKI processes. Railway operators can implement trustworthy communication in their own domains, but a standard must be established within the community and across domain boundaries in order to sustainably secure this communication in order to guarantee its integrity and authenticity. An organisational and cross-domain solution must be defined within the context of encrypted communication using certificates, as is the case with a railway PKI.

2 Key management

The central aspect of the communication between entities within ETCS is the Key Management System (KMS). A KMS

2 Key Management

Der zentrale Aspekt der Kommunikation zwischen Entitäten innerhalb von ETCS ist das Key Management System (KMS). Ein KMS verwaltet symmetrische Schlüssel in einem System bestehend aus einem KMC, mehreren On-Board Units (OBU) und Radio Block Centres (RBC). Es wird ein symmetrischer Schlüssel zwischen einem OBU und einem RBC verwendet, um die Verbindung zwischen diesen abzusichern. Der Schlüssel wird dabei von dem KMC erstellt und an das RBC/OBU gesendet.

Damit in Zukunft auch Schlüssel sicher und effizient zwischen mehreren Betreiberdomänen ausgetauscht werden können, müssen zwei KMC von verschiedenen Infrastrukturbetreibern kooperieren, um einen Schlüssel zu erzeugen, der auf einem RBC und OBU von verschiedenen Betreibern installiert werden kann. Gemäß TSI-Subset-137 ist dies per offline Key Management möglich und wird in produktiven Umgebungen eingesetzt. Offline Key Management hat historisch geprägt natürlich Nachteile in Sachen Automatisierbarkeit und Geschwindigkeit. Aus diesem Grund fokussieren sich die aktuellen Untersuchungen auf online Funktionalitäten. Die Kommunikation zwischen zwei KMC soll demnach über eine TLS-(Transport Layer Security)-Verbindung nach TSI Subset-146 stattfinden, da diese Authentifikation, Integration und Verschlüsselung bietet. Dazu werden auf beiden KMC X.509 Zertifikate installiert, die zum Aufbau eines TLS-Kanals verwendet werden. Die KMC benötigen aber eine Möglichkeit, um die Authentizität und Validität des präsentierten Zertifikats zu prüfen. Dies wird mit einer PKI realisiert werden. Dabei müssen PKI der Betreiber miteinander verbunden werden. Diese Verbindung ist technisch über verschiedene unterschiedliche Architekturen möglich. Sowohl die theoretischen als auch die praktischen Details sind jedoch vielfältig und komplex. Eine allgemeingültige Empfehlung ist durch die mannigfaltigen Parameter und Einsatzgebiete nicht möglich, sondern muss immer vom konkreten Einsatzfall abhängig gemacht werden. Hierzu wurde in dem entwickelten PKI PoC eine Simulationsumgebung erstellt, die gleichzeitig vier verschiedene PKI-Architekturen und ein KMS simuliert, sodass eine fundierte Entscheidung getroffen werden kann, welche Architektur in Zukunft zur Verbindung mehrerer Betreiberdomänen verwendet werden soll.

3 Komponenten einer PKI-Infrastruktur

Das Ziel einer PKI ist es, Vertrauen zwischen Kommunikationspartnern in einem Netzwerk zu schaffen. Sie erreicht dies durch die Bereitstellung von Diensten, die auf kryptografischen Verfahren basieren. Im ETCS-Kontext ist eine sichere, mittels PKI abgesicherte Kommunikation zur Schlüsselübertragung notwendig.

3.1 Aufbau

Die PKI besteht dazu aus drei Komponenten.

Die Zertifizierungsstelle (CA – Certification Authority) ist eine vertrauenswürdige Stelle, die digitale Zertifikate ausstellt. Ein digitales Zertifikat ist eine elektronische Bindung der Identität einer Person, Maschine oder Organisation an einen öffentlichen Schlüssel. Die CA besitzt dazu mindestens ein CA-Stammzertifikat, welches jedes erstellte Sub-Zertifikat mit seinem privaten Schlüssel signiert und diese Signatur in dem Sub-Zertifikat speichert. Mit diesem Verfahren wird eine Vertrauensbeziehung zwischen dem Stammzertifikat und dem Sub-Zertifikat geschaffen, da Kommunikationspartner die Signatur mit dem öffentlichen Schlüssel aus dem CA-Stammzertifikat verifizieren können.

manages symmetric keys in a system consisting of a KMC, several OnBoard Units (OBUs) and Radio Block Centres (RBCs). A symmetric key is used between the OBU and an RBC to secure the connection between them. The key is created by the KMC and sent to the RBC/OBU.

For keys to be exchanged securely and efficiently between multiple operator domains in the future, two KMCs from different infrastructure operators will have to cooperate in order to generate a key that can be installed on an RBC and OBU from different operators. According to TSI subset 137, this is possible via offline key management and is used in productive environments. Offline key management has historical disadvantages in terms of automation and speed. For this reason, current investigations are focussing on online functionalities. Communication between two KMCs should therefore take place via a TLS (Transport Layer Security) connection in accordance with TSI subset 146, as this offers authentication, integration and encryption. X.509 certificates are installed on both KMCs for this purpose and used to establish a TLS channel. However, the KMCs need a way of checking the authenticity and validity of the presented certificate. This will be realised using a PKI. The operators' PKIs must be connected to each other. This connection is technically possible using various types of architectures. However, both the theoretical and practical details are varied and complex. A generally valid recommendation is not possible due to the diverse parameters and areas of application, but each such recommendation must always be made dependent on the specific application. To this end, a simulation environment has been created in the developed PKI PoC that simultaneously simulates four different PKI architectures and a KMS, so that a well-founded decision can be made as to which architecture should be used to connect several operator domains in the future.

3 The components of a PKI infrastructure

The aim of a PKI is to create trust between the communicating partners within a network. It achieves this by providing services based on cryptographic procedures. Secure communication secured by a PKI is necessary for key transmission within the context of ETCS.

3.1 The structure

The PKI consists of three components.

The certification authority (CA) is a trustworthy organisation that issues digital certificates. A digital certificate involves the electronic binding of the identity of a person, machine or organisation to a public key. The CA has at least one CA root certificate that signs each sub-certificate created with its private key and saves this signature in the sub-certificate. This procedure creates a trust relationship between the root certificate and the sub-certificate, as the communication partners can verify the signature using the public key from the CA root certificate.

The registration authority (RA) is the body responsible for verifying the identity of the users and organisations before issuing the certificates so that trust is only transferred to authorised entities. The RA can be implemented using supporting protocols such as CMP. With CMP, a new private key is generated locally on the client and a certificate signing request (CSR) is generated based on this. The CSR is then sent to the CMP endpoint of the PKI with a CMP initial request (CMP IR). The

Die Registrierungsstelle (RA – Registration Authority) ist eine Stelle, die für die Überprüfung der Identität von Benutzern und Organisationen vor der Ausstellung von Zertifikaten verantwortlich ist, damit das Vertrauen nur berechtigten Personen übertragen wird. Die RA kann durch unterstützende Protokolle, wie CMP (Certificate Management Protocol), umgesetzt werden. Bei CMP wird lokal auf dem Client ein neuer privater Schlüssel und basierend auf diesem eine Zertifikatssignierungsanfrage (CSR – Certificate Signing Request) generiert. Die CSR wird dann mit einer CMP Initialen Anfrage (CMP IR) an den CMP-Endpunkt der PKI gesendet. Der Client muss sich dabei z. B. mit einem Passwort authentifizieren. Nach erfolgreicher Prüfung der Anfrage erhält der Client sein Zertifikat und die Zertifikatskette zum Wurzel-Zertifikat. Diese kann der Client ab diesem Zeitpunkt zur Authentifizierung gegenüber anderen Kommunikationspartnern verwenden.

Die dritte Komponente ist die Validierungsstelle (VA – Validation Authority), die Dienste zur Überprüfung der Gültigkeit von digitalen Zertifikaten bietet. Ein Zertifikat verliert seine Gültigkeit, wenn es revoziert wird oder abgelaufen ist. Die VA führt dazu eine Zertifikatsperlliste (CRL – Certificate Revocation List) für jedes Stammzertifikat. Ein Client kann entweder diese CRL über einen CRL-Verteilungspunkt herunterladen oder das Echtzeitprotokoll OCSP (Online Certificate Status Protocol) verwenden, um die Gültigkeit eines einzelnen Zertifikats über eine Webschnittstelle zu prüfen.

In der Praxis ist es möglich, diese Stellen innerhalb einer Softwarekomponente abzubilden. Für einen produktiven Einsatz und zur Verteilung von Zuständigkeiten ist eine voneinander unabhängige Implementierung und eine voneinander unabhängige Betriebsführung jedoch sinnvoll.

3.2 Inter-PKI Architekturen

Die Grundannahme des Projektes ist es, dass jeder Betreiber seine eigene PKI besitzt, die Zertifikate für seine Geräte ausstellt. Diese werden dann z. B. für das KMC benutzt. Wenn nun zwei KMC von verschiedenen Betreibern kommunizieren möchten, finden sie kein gemeinsames Wurzel-Zertifikat und können damit kein Vertrauen zueinander herstellen. Um das Vertrauen zwischen mehreren PKI und damit mehreren Betreibern herzustellen, muss ein Vertrauensanker zwischen den Betreibern ausgetauscht werden. Wir haben in dem entwickelten PoC vier verschiedene Architekturen untersucht:

- zentrale PKI
- kreuzsigniertes Stammzertifikat
- Brücken-PKI
- vertrauenswürdige Blattzertifikat.

In der zentralen PKI-Architektur teilen sich die beteiligten PKI einen gemeinsamen Vertrauensanker. Dieser Vertrauensanker ist eine CA, die von einer vertrauenswürdigen dritten Partei betrieben wird. Sie wird als zentrale Root-CA bezeichnet. Die zentrale Root-CA stellt die Stammzertifikate der beteiligten PKI aus. Daher müssen die Betreiber von PKI keine direkten vertrauensbildenden Maßnahmen ergreifen, sondern sich mit der vertrauenswürdigen dritten Partei in Verbindung setzen, um ihr jeweiliges Stammzertifikat ausstellen zu lassen. Um Vertrauen zwischen Entitäten verschiedener Domänen herzustellen, muss jede Entität das Zertifikat der zentralen Root-CA als vertrauenswürdige kennzeichnen. Entitäten verschiedener Domänen können Peers erfolgreich authentifizieren, da alle Vertrauensketten die gemeinsame zentrale Root als ihren Vertrauensanker haben.

Das kreuzsignierte Stammzertifikat ermöglicht es Betreibern, durch die Ausstellung von kreuzsignierten Zertifikaten Vertrauen zu ausgewählten PKI aufzubauen. Für jede PKI, mit der ein Betreiber Vertrauen aufbauen möchte, muss ein kreuzsigniertes Zertifikat ausgestellt werden. Daher müssen die Betreiber mit jeder PKI,

client must authenticate itself, for example, using a password. The client receives its certificate and the certificate chain to the root certificate once the request has been successfully checked. From this point onwards, the client can use this for authentication with other communication partners.

The third component is the validation authority (VA), which provides services for checking the validity of digital certificates. A certificate loses its validity if it is revoked or has expired. The VA maintains a certificate revocation list (CRL) for each root certificate. A client can either download this CRL via a CRL distribution point or use the OCSP real-time protocol to check the validity of an individual certificate via a web interface.

In practice, it is possible to map these components within a software component. However, it makes sense to implement and manage them independently of each other for productive use and the distribution of responsibilities.

3.2 Inter-PKI architectures

The basic assumption of the project is that each operator has its own PKI that issues certificates for its devices. These are then used, for example, for the KMC. If two KMCs from different operators want to communicate, they cannot find a common root certificate and therefore cannot establish trust with each other. In order to establish trust between several PKIs and therefore several operators, a trust anchor must be exchanged between the operators. We have analysed four different architectures in the developed PoC:

- central PKI
- cross-signed root certificate
- bridge PKI
- trusted leaf certificate.

The participating PKIs share a common trust anchor in the centralised PKI architecture. This trust anchor is a CA that is operated by a trustworthy third party. It is referred to as the central root CA. The central root CA issues the root certificates for the participating PKIs. Therefore, the PKI operators do not have to undertake any direct trust-building measures, but must contact a trusted third party to have their given root certificate issued. Each entity must identify the certificate for the central root CA as trustworthy in order to establish trust between entities from different domains. Entities from different domains can successfully authenticate any peers as all the trust chains have the common central root as their trust anchor.

The cross-signed root certificate enables operators to establish trust with selected PKIs by issuing cross-signed certificates. A cross-signed certificate must be issued for each PKI with which an operator wishes to establish trust. Therefore, operators must take direct trust-building measures with each PKI that they wish to trust.

For cross-signed architectures, entities can only trust entities from other domains if their PKI has issued a cross-signed certificate for the foreign PKI. This certificate serves as a bridge between the foreign PKI and the entity's own PKI and leads to a chain of trust from the foreign entity's certificate to the trusted root certificate of the entity's own PKI. In this way, entities can successfully authenticate other operators for whom cross-signed certificates from their PKI exist.

An example of this type of PKI architecture that already exists is the Let's Encrypt ISRG Root X1 CA, which is countersigned by the DST Root CA X3. The Internet Security Research Group (ISRG) has a Root Certification Authority (Root CA) called

der sie vertrauen wollen, direkte vertrauensbildende Maßnahmen ergreifen.

Entitäten können Entitäten anderer Domänen nur dann vertrauen, wenn ihre PKI ein kreuzsigniertes Zertifikat für die fremde PKI ausgestellt hat. Dieses Zertifikat dient als Brücke zwischen der fremden PKI und der eigenen PKI und führt zu einer Vertrauenskette vom Zertifikat der fremden Entität zum vertrauenswürdigen Stammzertifikat der eigenen PKI. Somit können Entitäten andere Betreiber, für die kreuzsignierte Zertifikate von ihrer PKI existieren, erfolgreich authentifizieren.

Ein Beispiel für diese Art von PKI-Architektur, die bereits existiert, ist die Let's Encrypt ISRG Root X1 CA, die von der DST Root CA X3 gegensigniert ist. Die Internet Security Research Group (ISRG) hat eine Root-Zertifizierungsstelle (Root-CA) namens „ISRG Root X1 CA“, die ein integraler Bestandteil von Let's Encrypt ist. Let's Encrypt ist eine gemeinnützige Zertifizierungsstelle, die sich der Bereitstellung kostenloser SSL/TLS-Zertifikate für die Internetverschlüsselung widmet. Der Name „ISRG Root X1“ bezeichnet das spezifische Root-Zertifikat, das in diesem Kontext von Let's Encrypt genutzt wird. Dies ermöglicht es Entitäten, die die DST Root CA X3 als Vertrauensanker einbeziehen, Vertrauen in Zertifikate aufzubauen, die von der Root X1 CA ausgestellt wurden, obwohl die Root X1 CA nicht vertrauenswürdig für sie ist. In der Eisenbahndomäne muss der Cross-Zertifizierungsprozess bidirektional erfolgen, damit beide Domänen einander vertrauen können.

Die Brücken-PKI-Architektur ist ein Spezialfall der kreuzsignierten Stammzertifikats-Architektur. Anstelle der Bildung individueller Vertrauensbeziehungen zwischen PKI wird eine gemeinsame Brücken-PKI eingeführt, die von einer vertrauenswürdigen dritten Partei betrieben wird. Die Brücken-PKI und jede teilnehmende PKI stellen kreuzsignierte Zertifikate aus. Wenn eine neue PKI der Kreuzsignierung mit der Brücken-PKI beiträgt, wird automatisch Vertrauen zu bestehenden und zukünftigen PKI aufgebaut. Alle Parteien, die über ein kreuzsigniertes Zertifikat mit der Brücken-PKI verfügen, stehen automatisch in einer Vertrauensbeziehung zueinander. Daher müssen die Betreiber nur eine erste vertrauensbildende Maßnahme mit der Brücken-PKI durchführen und müssen dies nicht für andere PKI wiederholen. Das Vertrauen zwischen Entitäten verschiedener Betreiber wird wie bei der Kreuzsignierungs-Architektur hergestellt. Der einzige Unterschied besteht darin, dass die Brücken-PKI die Lücke zwischen den verschiedenen PKI „überbrückt“, anstatt direkte Zertifikate für die Kreuzsignierung zwischen den PKI zu besitzen.

Die letzte betrachtete Architektur ist die vertrauenswürdige Blattzertifikat-Architektur. Alle beteiligten PKI sind unabhängig voneinander und haben keine Vertrauensbeziehungen untereinander. Daher müssen die Betreiber der verschiedenen PKI keine vertrauensbildenden Maßnahmen ergreifen. Das Vertrauen zwischen Entitäten von Domänen wird ausschließlich auf der Ebene der Entitäten hergestellt. Wenn zwei Entitäten aus verschiedenen Domänen über einen authentifizierten TLS-Kanal kommunizieren sollen, werden die Zertifikate der jeweiligen Entitäten zwischen den beiden Domänen ausgetauscht und als vertrauenswürdig innerhalb der Entitäten gekennzeichnet.

3.3 Prozesse

Für jede dieser Architekturen haben wir einen abstrakten Prozess ausgearbeitet, wie initial das Vertrauen zwischen den PKI der Betreiber hergestellt werden kann. Die Prozesse stellen dar, welche Partei welches Zertifikat signieren muss und welche Informationen zwischen den PKI ausgetauscht werden müssen.

In Bild 1 ist exemplarisch der Vorgang zur Herstellung von Vertrauen zwischen verschiedenen Bahnbetreibern dargestellt. Es wird deut-

lich „ISRG Root X1 CA“, which is an integral part of Let's Encrypt. Let's Encrypt is a non-profit certification authority dedicated to provide free SSL/TLS certificates for internet encryption. The name “ISRG Root X1” refers to the specific root certificate used by Let's Encrypt within this context. This allows entities that include the DST Root X3 CA as a trust anchor to establish trust in certificates issued by the Root X1 CA, even though the Root X1 CA is not trusted by them. In the railway domain, the cross-certification process must be bidirectional so that both domains can trust each other.

The bridge PKI architecture is a special case of the cross-signed root certificate architecture. Instead of forming individual trust relationships between PKIs, a common bridge PKI operated by a trusted third party is introduced. The bridge PKI and each participating PKI issue cross-signed certificates. When a new PKI joins the cross-signing with the bridge PKI, trust is automatically established using existing and future PKIs. All parties that have a cross-signed certificate with the bridge PKI are automatically in a trust relationship with each other. Therefore, operators only need to perform an initial trust-building measure with the bridge PKI and do not need to repeat this for the other PKIs. Trust between entities from different operators is established in the same way as with the cross-signing architecture. The only difference is that the bridge PKI “bridges” the gap between the different PKIs instead of having direct certificates for cross-signing between the PKIs.

The last considered architecture is the trusted leaf certificate architecture. All the involved PKIs are independent of each other and have no mutual trust relationships. Therefore, the operators of the different PKIs do not need to undertake any trust-building measures. Trust between domain entities is established exclusively at the entity level. If two entities from different domains want to communicate via an authenticated TLS channel, the certificates of the respective entities are exchanged between the two domains and labelled as trustworthy within the entities beforehand.

3.3 Processes

We have established an abstract process for each of these architectures in order to initially establish trust between the operators' PKIs. The processes show which party must sign which certificate and what information must be exchanged between the PKIs. Fig. 1 shows an example of the processes for establishing trust between different railway operators. There are processes that need to be carried out for each architecture. These include the creation of the private and public keys and the distribution of the associated certificates among the participating railway operators and domains. These steps are identical for all architectures, but are implemented differently for each railway operator. It is therefore difficult to give a general estimate of the work involved. Some railway operators already have automation in this area, but manual processes are also widespread.

In addition, each architecture requires individual additional process steps to create, sign and transfer certificates for productive use in accordance with the architecture. For cross-signed certificates, for example, a cross-signed certificate must be generated for each subscriber (railway operator in the network). This must also be distributed in the network after successful generation in order to be able to be used on the entities. The interfaces between the railway operators should especially not be forgotten here. We consider these transfer points to be particularly critical, as railway operators do not currently offer

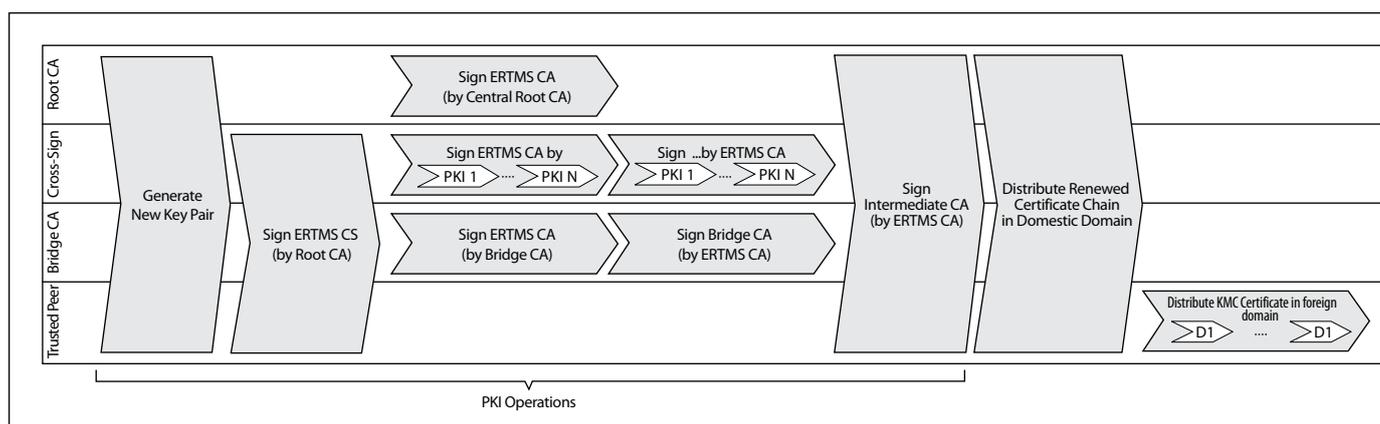


Bild 1: Prozesse, um Vertrauen zwischen mehreren Betreibern durch verschiedene PKI-Architekturen herzustellen

Fig. 1: The processes used to establish trust between operators with different PKI architectures

lich, dass es Prozesse gibt, welche für jede Architektur durchgeführt werden müssen. Unter anderem das Erstellen der privaten und öffentlichen Schlüssel und das Verteilen der zugehörigen Zertifikate unter den teilnehmenden Bahnbetreibern und Domänen. Diese Schritte sind für alle Architekturen identisch, sind jedoch für jeden Bahnbetreiber unterschiedlich implementiert. Der entsprechende Aufwand für diese Arbeiten ist demnach auch schwer allgemein anzugeben. Einige Bahnbetreiber verfügen bereits über Automatisierung in diesem Bereich – jedoch sind auch manuelle Prozesse weit verbreitet.

Hinzu kommt, dass jede Architektur individuell weitere Prozessschritte fordert, um entsprechend der Architektur Zertifikate zu erstellen, zu signieren und in den produktiven Gebrauch zu überführen. Für kreuzsignierte Zertifikate muss beispielsweise ein kreuzsigniertes Zertifikat pro Teilnehmer (Bahnbetreiber im Netzwerk) erzeugt werden. Dieses muss nach erfolgreicher Erzeugung ebenfalls im Netzwerk verteilt werden, um auf den Entitäten nutzbar zu sein. Insbesondere die Schnittstellen zwischen Bahnbetreibern sollten hier nicht vergessen werden. Diese Übergabepunkte sehen wir als besonders kritisch an, da Bahnbetreiber aktuell keine aufeinander abgestimmten Prozesse anbieten, um Zertifikatsmanagement zu vereinheitlichen. Ziel des Projektes wird sein, diese Unterschiede im Rahmen der Simulation aufzuzeigen. Mithilfe der aufgebauten Simulationsumgebung werden die Bahnbetreiber somit frühzeitig in die Lage versetzt, Hinweise für eigene Prozesse zu sammeln und diese auf zukünftige Angleichungen aufzustellen. Ein Vergleich über unterschiedliche Architekturen mittels der Simulationsumgebung trägt dazu bei, eine zukunftsfähige und tragfähige Lösung zu finden.

4 Aufbau der Simulationsumgebung

Die entwickelte Simulationsumgebung simuliert ein KMS, das aus mehreren Domänen besteht und verschiedene Anwendungsfälle abbildet. Z. B. ist es möglich den Austausch zwischen zwei KMC aus unterschiedlichen Domänen über TLS zu simulieren oder die Kommunikation zwischen OBU und RBC, und zwar sowohl innerhalb einer Domäne als auch domänenübergreifend. Die Simulationsumgebung ist eine geteilte Umgebung und für die gesamte Gruppe frei verfügbar, sodass auch mehrere Benutzer gleichzeitig mit dem gleichen KMS experimentieren können. Alternativ ist es auch möglich, zeitgleich und unabhängig an jeweils eigenen Umgebungen zu simulieren. Es wurde darauf geachtet, Open-Source Software einzusetzen, sodass es den Teilnehmern auch freisteht,

any coordinated processes to standardise certificate management. The aim of the project will be to highlight these differences in the simulation. With the help of the simulation environment set up, railway operators will be able to gather information for their own processes at an early stage and set them up for future harmonisation. A comparison of different architectures using the simulation environment will help to find a sustainable and viable solution for the future.

4 The structure of the simulation environment

The developed simulation environment simulates a KMS that consists of several domains and maps out different use cases. For example, it is possible to simulate the exchange between two KMCs from different domains via TLS or the communication between OBU and RBC - within a domain or across domains. The simulation environment is a shared environment and freely available to the entire group, so that several users can experiment with the same KMS at the same time. Alternatively, it is also possible to simulate simultaneously and independently in separate environments. Care has been taken to use open-source software so that the participants are also free to create a complete copy of the environment and run it themselves. This allows the participants to test their own processes securely and in isolation.

The simulation environment consists of three components:

The first component is the underlying PKIs. A total of four PKIs have been integrated into the simulation environment. Three of them simulate operator PKIs and one simulates a trusted third party, if required. The corresponding PKIs are used according to their role depending on the simulated architecture. The operator PKIs offer a CMP interface to issue certificates according to the certificate profile from TSI Subset-146. All the PKIs offer an OCSP-endpoint to check the certificate status of the entity or CA certificates. The PKIs can be set up automatically. The various architectures between the PKIs are also initialised during the setup. However, additional external PKIs can also be connected to the simulation environment in order to check whether the participant's own PKI can also be integrated into the various PKI architectures. All the used PKI interfaces are standardised interfaces and therefore manufacturer independent.

The second component is a custom-developed server that orchestrates the execution of the various use cases and the storage of the data required for the use cases. In addition to a REST

eine komplette Kopie der Umgebung zu erzeugen und selbst zu betreiben. So können eigene Prozesse sicher und abgeschottet getestet werden.

Die Simulationsumgebung besteht aus drei Komponenten: Die erste Komponente sind die zugrundeliegenden PKI. Insgesamt sind vier PKI in der Simulationsumgebung eingebunden. Drei davon simulieren Betreiber-PKI und eine simuliert, bei Bedarf, eine vertrauenswürdige dritte Partei. Je nach simulierter Architektur werden die entsprechenden PKI ihrer Rolle nach eingesetzt. Die Betreiber-PKI bieten eine CMP-Schnittstelle an, um Zertifikate nach dem Zertifikatsprofil aus TSI Subset-146 auszustellen. Alle PKI bieten einen OCSP-Endpunkt an, um den Zertifikatsstatus von Entitätszertifikaten oder CA-Zertifikaten zu prüfen. Die PKI können automatisch aufgesetzt werden. Während der Aufsetzung werden auch gleichzeitig die verschiedenen Architekturen zwischen den PKI initialisiert. Es können aber auch zusätzliche externe PKI an die Simulationsumgebung angebunden werden, um zu prüfen, ob die eigene PKI auch in die verschiedenen PKI-Architekturen integriert werden kann. Alle eingesetzten Schnittstellen der PKI sind standardisierte Schnittstellen und damit herstellerunabhängig.

Die zweite Komponente ist ein individuell entwickelter Server, der die Durchführung der verschiedenen Anwendungsfälle und das Speichern der benötigten Daten für die Anwendungsfälle orchestriert. Der Server bietet neben einer REST- (Representational State Transfer) Schnittstelle für das Webinterface auch eine Kommandozeileninteraktion an. Mit dieser können alle Funktionen des Servers automatisiert werden. So können komplexe Szenarien als Skripte angelegt und automatisiert vom Server simuliert und getestet werden.

Die dritte Komponente ist ein interaktives Webinterface, über das Benutzer ein eigenes KMS aufsetzen und betreiben können (Bild 2). Insbesondere erlaubt dies Benutzern, KMAC innerhalb der eigenen Domäne, aber auch über Domänengrenzen hinweg zu verteilen, zu erneuern und zu löschen. Außerdem kann die Kommunikation zwischen KMC, RBC und OBU simuliert werden.

(Representational State Transfer) interface for the web interface, the server also offers command line interaction. This can be used to automate all the server's functions. This means that complex scenarios can be created as scripts and automatically simulated and tested by the server.

The third component is an interactive web interface that allows users to set up and operate their own KMS (fig. 2). This allows users to distribute, renew and delete KMACs within their own domain, but also across domain boundaries. Communication between the KMC, RBC and OBU can also be simulated.

In addition to the use cases, the simulation environment can also be used to test the behaviour of the KMS in the event of any disrupted functionality. For example, it is very easy to test how the system behaves when certificates have expired, are invalid or have been revoked. Other malfunctions that can be simulated include a lack of availability of OCSP or CMP endpoints or a lack of integrity in the certificate stores and trust anchors.

5 Conclusion

This comprehensive simulation environment enables various PKI architectures to be evaluated in detail and compared with one another. This enables a well-founded decision to be made as to which PKI architecture should be standardised for communication between several KMS in the future.

Metrics that help objectively assess the complexity of the various systems are created as part of the evaluation. The focus here was primarily on the differences between the architectures. Process steps are modelled and evaluated using simulation and extrapolation. This makes it possible to recognise very quickly that a central PKI architecture requires significantly less effort when distributing the trust anchors in the overall system. Cross-signed architectures are at a clear disadvantage here, as newly generated trust anchors must be redis-

© 2024 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

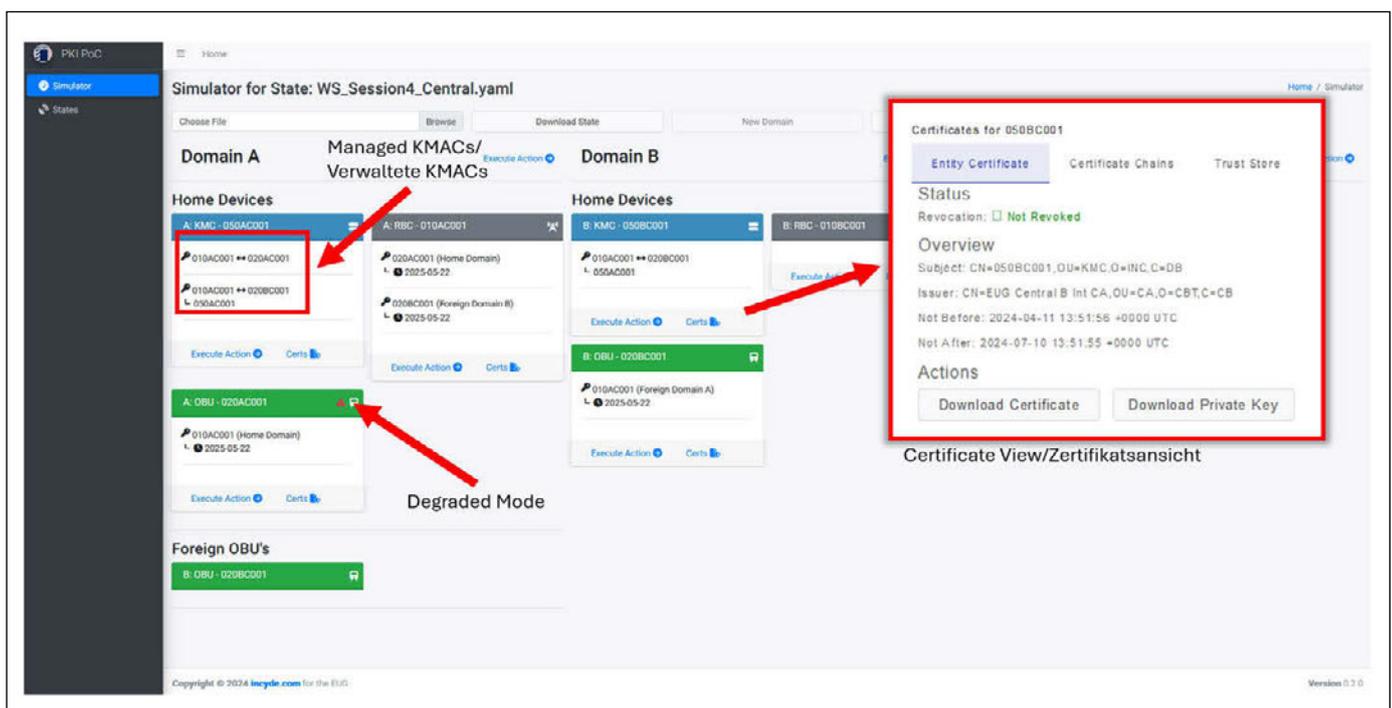


Bild 2: Nutzer-Interface des PKI PoC Simulators

Fig. 2: The GUI of the PKI PoC Simulator

Zusätzlich zu den Anwendungsfällen kann mit der Simulationsumgebung das Verhalten des KMS bei gestörter Funktionalität getestet werden. So kann z. B. sehr einfach getestet werden, wie sich das System verhält, wenn Zertifikate abgelaufen, ungültig oder revoziert sind. Weitere simulierbare Störungen beinhalten die mangelnde Verfügbarkeit von OSCP- oder CMP-Endpunkten oder die mangelnde Integrität von Zertifikatsspeichern und Vertrauensankern.

5 Fazit

Diese umfassende Simulationsumgebung ermöglicht es, die verschiedenen PKI-Architekturen ausführlich zu evaluieren und einander gegenüberzustellen. So ist eine fundierte Entscheidung möglich, welche PKI-Architektur für die Kommunikation zwischen mehreren KMS zukünftig standardisiert werden soll.

Als Teil der Evaluation werden Metriken erstellt, die helfen, die Komplexität der verschiedenen Systeme objektiv zu bewerten. Hier hat man sich vor allem auf die Unterschiede der Architekturen konzentriert. Mittels Simulation und Extrapolation werden Prozessschritte modelliert und ausgewertet. So kann man bereits sehr schnell erkennen, dass eine zentrale PKI-Architektur deutlich geringere Aufwände beim Verteilen der Vertrauensanker im Gesamtsystem aufweist. Kreuzsignierte Architekturen sind hier deutlich im Nachteil, da neu erzeugte Vertrauensanker im gesamten Kommunikationsverbund jedes Mal erneut verteilt werden müssen. Dafür hat eine kreuzsignierte Architektur für den Betreiber andere Vorteile: Der Bahnbetreiber kann für jeden Teilnehmer einzeln entscheiden, ob ein Vertrauensverhältnis eingegangen wird. Bei einer zentralen oder Brücken-Architektur wird automatisch dem Gesamtverbund des Vertrauensnetzwerkes vertraut. Bereits mit diesen beiden kleinen Beispielen kann man sehen, dass die Bewertung der Architekturen kein einfaches Unterfangen ist.

Eine Einstufung der Komplexität ist zudem ebenfalls unter dem Blickwinkel der einzelnen Bahnbetreiber durchzuführen. Unterschiede in der Implementierung, der eingesetzten Software und der genutzten Prozesse führen zu einer durchaus unterschiedlichen Gesamtbeurteilung der Architekturen. Das zukünftige Kommunikationsnetz wird vor allem durch standardisierte Schnittstellen zusammenwachsen müssen, um Themen wie Automatisierung, Geschwindigkeit und Sicherheit über Domänengrenzen hinweg eine breite Basis zu bieten.

Eine Entscheidung befindet sich derzeit im Prozess. Die dazu durchgeführte Evaluation baut dabei auf verschiedenen Metriken, wie technische Komplexität, Skalierbarkeit oder Resilienz, auf. Dabei lassen sich die Metriken zum einen mit theoretischen quantitativen Werten, aber auch qualitativen Werten, die beim Testen der jeweiligen Architektur entstanden sind, füllen. Entscheidungsträger können Hands-on ein Gefühl dafür erlangen, welche Vor- und Nachteile die verschiedenen Architekturen haben. Die Evaluation wird in einem ausführlichen Ergebnisdokument für die EUG zusammengefasst und soll somit wichtige Inhalte für die Arbeiten im Rahmen des EU-Rail Projekts liefern.

In der Zukunft kann man mit niedrigerem Aufwand ähnliche Simulatoren für Systeme wie EULYNX bauen, sodass die Entscheidung für PKI-Architekturen in verschiedenen Umgebungen deutlich vereinfacht wird. ■

tributed throughout the entire communication network each time. On the other hand, a cross-signed architecture has other advantages for the operator: the railway operator can decide individually for each participant whether to enter into a trust relationship. The entire trust network is automatically trusted with a centralised or bridge architecture. Even with these two small examples, the evaluation of the architectures is not a simple endeavour.

The complexity must also be categorised from the perspective of the individual railway operators. Differences in implementation, the used software and the utilised processes can lead to a very different overall assessment of the architectures. The future communication network will have to grow together primarily through standardised interfaces to provide a broad basis for topics such as automation, speed and security across domain boundaries.

This decision is currently in the process of being made. The evaluation carried out for this purpose is based on various metrics such as technical complexity, scalability and resilience. The metrics can be filled with theoretical quantitative values, but also with qualitative values that were created when testing the respective architecture. Decision-makers can get a hands-on feel for the advantages and disadvantages of the various architectures. The evaluation will be summarised in a detailed results document for the EUG and should therefore provide important content for the work within the EU Rail project.

In the future, it will be possible to build similar simulators for systems such as EULYNX with less effort, thereby making it much easier to decide on PKI architectures in different environments. ■

AUTOREN | AUTHORS

Tobias Wothge

Junior IT/OT Security Expert

Incyde GmbH

Anschrift / Address: Herzog-Wilhelm-Straße 19, D-80331 München

E-Mail: tobias.wothge@incyde.com

Johannes Häring

IT/OT Security Expert

Incyde GmbH

Anschrift / Address: Schaumainkai 91, D-60596 Frankfurt am Main

E-Mail: johannes.haering@incyde.com

Richard Frhr. Poschinger von Frauenau

Senior IT/OT Security Expert, Tech Lead Standardization

Incyde GmbH

Anschrift / Address: Herzog-Wilhelm-Straße 19, D-80331 München

E-Mail: richard.poschinger@incyde.com

Ernst Kleine

Technical Manager

EEIG ERTMS Users Group

Anschrift / Address: Rue Froissart 123-133, B-1040 Brüssel

E-Mail: ekleine@ertms.be

Dr. Johannes Küber

Principal IT/OT Security Expert, Tech Lead Security Platform

Incyde GmbH

Anschrift / Address: Rheinstraße 16a, D-64283 Darmstadt

E-Mail: johannes.kueber@incyde.com

ETCS Retrofit von Bestandsfahrzeugen – effiziente Lösungen ohne Einbezug des Fahrzeugherstellers

ETCS retrofitting of existing rolling stock – efficient solutions without the involvement of the vehicle manufacturer

Bernd Göbbel

Um dem wachsenden Bedarf an Transportlösungen auf der Schiene gerecht zu werden, werden Neubaustrecken und Neufahrzeuge mit dem European Train Control System (ETCS) ausgestattet, und es werden vermehrt Bestandsstrecken und -fahrzeuge mit ETCS nachgerüstet. Ein Hauptziel bei der Ausrüstung von Bestandsfahrzeugen mit ETCS besteht darin, die Standzeit für Umbau und Zulassung so niedrig wie möglich zu gestalten, um die Auswirkung auf den betrieblichen Verplanungsgrad der Fahrzeuge so gering wie möglich zu halten. Die Ausrüstung von Rollmaterial mit ETCS stellt einen signifikanten Eingriff in die bestehende Fahrzeugarchitektur dar und gliedert sich in drei Bereiche: Mechanische und elektrische Integration von Hardware, Funktionale Integration des ETCS in die bestehende Fahrzeugarchitektur, Zulassung des Gesamtsystems gemäß European Rail Agency (ERA) Prozess. Insbesondere die Lösung der Punkte 2 und 3 ist anspruchsvoll, denn hierfür muss eine detaillierte Fahrzeugdokumentation vorliegen. Dies ist jedoch nicht immer der Fall, und Fahrzeugdokumente sind unvollständig, überholt oder wurden nicht vom Fahrzeughersteller an den Halter übergeben. Die Projektorganisation ist oft vielschichtig und bedarf ggf. der Zusammenarbeit von direkten Wettbewerbern, falls der ETCS-Lieferant nicht identisch mit dem Fahrzeughersteller ist. Dies kann zu Nachteilen im Projektablauf führen.

Um diese Aufgabenstellung zu erfüllen, hat Stadler ein Konzept entwickelt, mit dem die Ausrüstung mit ETCS ohne Einbezug des Fahrzeugherstellers durchführbar ist. Die Machbarkeit wurde in zwei Pilotprojekten demonstriert. Lokomotiven der BR 185.2 sowie ein Triebzug der BR 605 wurden mit ETCS Baseline 3.4.0 ausgerüstet und in Deutschland nach ERA-Verfahren zugelassen. Aktuell befinden sich weitere Projekte (DB Netz BR 711.1 und BR 741.x, BLS Netz Tm 235 und Am 843) in der Umsetzung. Um die Komplexität der Projekte nicht weiter zu erhöhen, verzichtete der Auftraggeber auf zusätzliche Anforderungen aus dem Bereich ATO. Stadler setzt die ETCS-Hardware „Guardia“ des Systemlieferanten AngelStar ein. Bei AngelStar handelt es sich um ein 2017 gegründetes Joint-Venture zwischen der MERMEC Group (Italien) und Stadler Rail (Schweiz). ETCS „Guardia“ kommt bereits auf Fahrzeugen in vielen europäischen Ländern zum Einsatz. Stadler ist mit diesem Konzept zukunftsfähig aufgestellt, um sowohl eigene als auch Fahrzeuge von Drittherstellern in Deutschland und Europa mit ETCS auszurüsten. Damit ermöglicht Stadler die Reduzierung von Standzeiten für First-of-Class (FoC)-Projekte und leistet einen entscheidenden Beitrag für das Gelingen des ETCS-Rollouts im Rahmen der Sektorinitiative „DSD – Digitale Schiene Deutschland“.

Newly built railway infrastructure and rolling stock are being equipped with European Train Control System (ETCS), while more and more existing railway lines and vehicles are being retrofitted with ETCS in order to comply with the increasing demand for rail transport solutions. One of the main objectives for the retrofitting of existing vehicles with ETCS is to keep the time needed for any modifications and homologation as short as possible in order to reduce the impact on operational availability. The installation of ETCS equipment in rolling stock has a significant impact on the existing vehicle architecture and consists of the following areas: the mechanical and electrical integration of the hardware, the functional integration of ETCS into the existing vehicle structure, the homologation of the entire vehicle according to European Rail Agency's (ERA) process. The solution, especially for points 2 and 3, is challenging, since it requires detailed technical vehicle information. However, this is not always available and the documentation may be incomplete, outdated or remain the intellectual property of the original equipment manufacturer (OEM) and as such may never have been shared with the vehicle owner. The project set-up is often multi-layered and, in those cases where the ETCS supplier is not identical to the vehicle OEM, may necessitate the collaboration of competitors at the vehicle level. This situation may lead to disadvantages and delays over the course of the project.

Stadler has developed a concept for retrofitting rolling stock with ETCS without the involvement of the vehicle OEM. The concept has already been service proven in two pilot projects. Class 185.2 locomotives and one Class 605 DEMU have been equipped with ETCS Baseline 3.4.0 and homologated in Germany following the ERA process. At present, several additional projects (e.g. DB Netz Class 711.1 and Class 741.x, BLS Netz Tm 235 and Am 843) are ongoing and on track. The customers have foregone any additional requirements for Automatic Train Operation (ATO) in order to avoid any additional complexity in the project. Stadler uses ETCS hardware known as Guardia, which has been jointly developed by the MERMEC Group (Italy) and Stadler Rail (Switzerland) in a joint venture known as AngelStar. The Guardia ETCS system is already in operation on vehicles in several European countries.

This retrofit concept has provided Stadler with a strong position for retrofitting both Stadler vehicles and the vehicles of third party OEMs with ETCS in Germany and all over Europe. This concept has enabled Stadler to reduce the amount of time vehicles need to spend out of service and make a significant con-

1 Hintergrund

Die Sektorinitiative „DSD – Digitale Schiene Deutschland“ beziffert die Anzahl der in Deutschland mit ETCS auszurüstenden Bestandsfahrzeuge auf 13 000. Darunter sind 5500 Fahrzeuge, welche auf TEN (Trans-European Network)-Korridoren verkehren und mit höchster Priorität auszurüsten sind. Insgesamt geht die Schätzung von 317 FoC-Fahrzeugen aus, welche anlässlich der ETCS-Ausrüstung neu zugelassen werden müssen [1].

Aktuell werden alle Neufahrzeuge in der Schweiz und Österreich sowie ein Großteil der Neufahrzeuge in Deutschland mit ETCS ausgerüstet. Die Bearbeitung von Neuprojekten bindet bei Fahrzeugherstellern bereits die Kapazitäten von ETCS-Fachkräften, wodurch diese nur in reduziertem Maße für Retrofit-Projekte zur Verfügung stehen.

Um FoC-Projekte mit kurzer Durchlaufzeit abzuwickeln, liegt besonderes Augenmerk auf übertragbaren, skalierbaren Lösungen und einem effizienten Einsatz von Personalressourcen. Bereits entwickelte und erprobte Lösungen müssen mit möglichst geringem Anpassungsbedarf auf andere Flotten übertragbar sein.

Kurze Projektlaufzeiten stehen auch im Interesse des Fahrzeughalters und des Eisenbahnverkehrsunternehmens. Ziel ist es, die Auswirkung auf die Flottenverfügbarkeit so gering wie möglich zu halten, um genügend Fahrzeuge für den Betrieb zur Verfügung zu haben sowie die begrenzten Kapazitäten an Werkstattfläche und Abstellgleisen effizient zu nutzen.

2 Aufgabenstellung

Die ETCS-Fahrzeugausrüstung setzt sich aus einer Vielzahl von Komponenten zusammen. Dafür müssen geeignete Bauräume identifiziert werden, unter Berücksichtigung von konstruktiven (z. B. Kabelwege, Strukturfestigkeit), normativen (z. B. Brandschutz) sowie Anforderungen an den Streckenzugang (z. B. Gewichtsbilanz und damit Auswirkung auf Achslast). Weiter müssen Anforderun-

tribution to the success of the ETCS rollout within the framework of the “DSD – Digitale Schiene Deutschland” initiative.

1 Background

The “DSD – Digitale Schiene Deutschland” initiative estimates the number of vehicles to be retrofitted with ETCS in Germany at 13’000. This includes 5500 vehicles operating on TEN (Trans-European Network) corridors that need to be retrofitted with the highest priority. In total, it is estimated, that 317 first-of-class (FoC) vehicles will need to be re-homologated during ETCS retrofit projects [1].

All newly built vehicles delivered to Switzerland and Austria and the majority of the vehicles in Germany are currently equipped with ETCS. The preparation of new vehicle projects has already utilised a significant number of the scarce ETCS experts in the industry, meaning that there is limited availability of such experts for retrofit projects.

In order to execute FoC projects with short lead times, the project is focussing on transferable, scalable solutions with the efficient utilisation of resources. Existing and service proven solutions should be applicable in multiple vehicle fleets with little adaptation.

Vehicle owners and operators are also interested in short project timelines. The impact on fleet availability should be reduced to a minimum, in order to keep the maximum number of vehicles in operation and occupy as little workshop and siding space as possible.

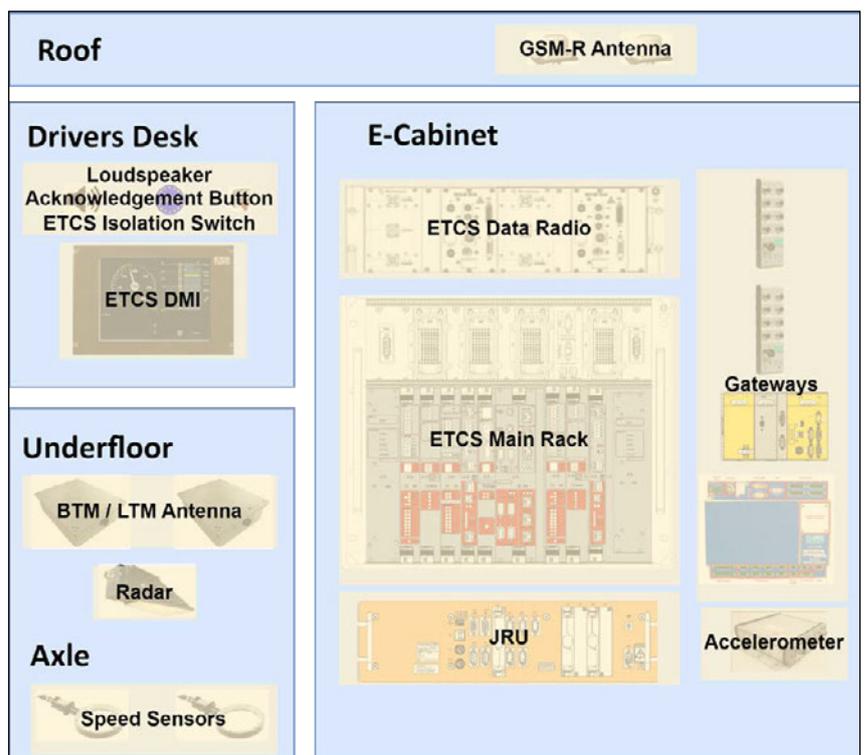
2 The scope of the work

The ETCS hardware to be installed on a vehicle, consists of a variety of components. Suitable space needs to be found for the components with respect to the physical constraints (e.g. cable routing, structural strength), the normative constraints (e.g. fire safety) and any re-

Bild 1: Zu integrierende ETCS Komponenten

Fig. 1: ETCS hardware to be integrated

Quelle / Source: Stadler



gen an Instandhaltungsfähigkeit und Zugänglichkeit berücksichtigt werden. Bild 1 zeigt die zu installierenden ETCS-Komponenten. Das ETCS ist ein SIL4-System, welches funktional in die bestehende Fahrzeugarchitektur gemäß EN 50126 integriert wird. Hierfür müssen Datenschnittstellen zum Fahrzeug für den Austausch von Signalen und der Übermittlung von Befehlen (z. B. ETCS-Zwangsbremung) geschaffen werden.

Bestehende Klasse-B-Systeme (z. B. LZB, PZB) werden entweder ersatzlos entfernt oder müssen für eine Integration in die ETCS-Architektur aufgerüstet werden.

3 Systembeschreibung am Beispiel „Pilotprojekt BR 185.2“

Anlässlich des „Pilotprojekts BR 185.2“ soll hier die umgesetzte Lösung näher beschrieben werden. Lokomotiven der Fahrzeugfamilie Bombardier TRAXX AC2 mit den Fahrzeugnummern 91 80 6185 397-7 und 91 80 6185 399-3 wurden mit ETCS BL 3.4.0. nachgerüstet, das bestehende LZB System durch LZB 80E ersetzt. Die Zulassung erfolgte im Oktober 2023.

Bei Lokomotiven der BR 185.2 handelt es sich um moderne Schienenfahrzeuge (Baujahr 2010) mit komplexer Leittechnik (TCMS) und Fahrzeugbus. Damit gehen erhöhte Anforderungen an die funktionale Integration des ETCS einher.

3.1 Anbindung an den Fahrzeugbus

Für einen Betrieb mit ETCS müssen Fahrzeugsignale wie „Führerstand besetzt“ und „gewählte Fahrtrichtung“ durch das ETCS-Zentralgerät eingelesen werden. Diese Signale liegen auf dem Fahrzeug entweder als diskrete Signale (festverdrahtet) vor, oder sie werden seriell auf dem Fahrzeugbus abgesetzt. Bei komplexen Fahrzeugarchitekturen werden die für ETCS benötigten Signale größtenteils oder vollständig seriell auf dem Fahrzeugbus übertragen. Diese Signale müssen identifiziert, eingelesen und dem ETCS zur Verfügung gestellt werden.

Die Identifizierung der relevanten Signale erfolgt entweder mittels Schnittstellenbeschreibung des Herstellers, sofern diese vorliegt, oder durch Reverse-Engineering mittels Versuchsreihen auf dem Fahrzeug. Kernstück des Stadler ETCS-Retrofitkonzepts ist das „Vehicle Data Acquisition Device“ (VDAD), ein Gateway, welches die Kommunikation auf dem Fahrzeugbus registriert und die für den ETCS-Betrieb notwendigen Signale auf einem separaten und vom Fahrzeug unabhängigen ETCS-Bus bereitstellt.

Das Absetzen von Signalen auf dem Fahrzeugbus stellt einen wesentlichen Eingriff in das bestehende System dar. Die Rückwirkungsfreiheit muss nachgewiesen werden, und diese setzt die Kenntnis aller Busteilnehmer, des Datenverkehrs auf dem Fahrzeugbus und der Verwendung der Daten durch die einzelnen Teilnehmer voraus. Es handelt sich um proprietäre Informationen, welche in der Regel nicht vom Fahrzeughersteller an den -eigner übergehen. Um einen ETCS-Retrofit ohne Einbezug des Fahrzeugherstellers zu ermöglichen, werden keine Signale auf dem Fahrzeugbus abgesetzt, sondern es werden ausschließlich Signale eingelesen.

3.2 ETCS-Hauptkomponenten

Im Elektronikschrank werden das ETCS-Zentralgerät, der ETCS-Datenfunk sowie ein zentrales Gateway und weitere Peripheriegeräte installiert. Die Balisen- und Euroloop-Antenne und das ETCS-Radar sind im Untergestell untergebracht. An zwei Achsen werden Geschwindigkeitssensoren installiert.

3.3 ETCS-Bedienelemente

Die zentrale Bedienschnittstelle für den Lokführer ist das ETCS Driver Machine Interface (DMI). Dieses wird mittig auf dem Führertisch

quirements concerning access to the railway infrastructure (e.g. the axle load and weight balance). In addition, maintainability and accessibility requirements also need to be considered. Fig. 1 shows the key ETCS equipment that must be installed on the vehicle.

ETCS is a SIL4-system that is functionally integrated into the vehicle according to EN 50126. A data interface to the vehicle therefore needs to be established for the transmission of the signals and commands (e.g. the ETCS emergency brake). Existing Class-B systems (e.g. LZB, PZB) are either removed or need to be upgraded in order to enable their integration into the ETCS architecture.

3 A system description using the example of the “Class 185.2 Pilot Project”

Stadler has recently completed the “Class 185.2 Pilot Project” where locomotives from the Bombardier TRAXX AC2 vehicle platform (numbers 91 80 6185 397-7 and 91 80 6185 399-3) were equipped with ETCS Baseline 3.4.0. The installed LZB was replaced with LZB 80E. Authorisation was obtained in October 2023.

Class 185.2 locomotives are modern railway vehicles (manufactured in 2010) with a complex TCMS and a vehicle bus. This increases the complexity of the functional ETCS integration and is described in the following sections.

3.1 The vehicle interface

When operating with ETCS, vehicle signals such as “Cab occupied” and “direction of travel” need to be read and processed by the ETCS on-board unit. These signals are either available in the vehicle as discrete signals (hardwired) or are transmitted on the vehicle bus. In complex vehicle architectures, the signals required by ETCS are partly or mainly available on the vehicle bus only. These signals need to be identified and made available to the ETCS.

The relevant signals can either be identified through the OEM interface description document, if available, or they have to be determined by means of extensive test runs on the vehicle (reverse engineering).

The core part of Stadler’s ETCS retrofit concept consists of the “Vehicle Data Acquisition Device” (VDAD). The device scans the vehicle bus and provides the relevant signals to the ETCS bus.

Introducing signals to a vehicle bus can have a significant impact on the existing system. In order to be able to introduce signals onto the vehicle bus, it is necessary to know how the data traffic is managed and constructed on the bus in order to avoid any unintended consequences.

This is proprietary information of the OEM, which is usually not shared with the vehicle owner. Therefore, no signals were introduced to the vehicle bus in order to enable the ETCS retrofit without involvement of the OEM.

3.2 The main ETCS components

The ETCS on-board unit, the ETCS data radio, several gateways and the I/O modules are installed inside an electronic cubicle in the machine room. The BTM/LTM antenna and the ETCS radar are installed on the underframe. Speed sensors are mounted onto two different axle ends.

3.3 The ETCS control devices

The ETCS driver machine interface (DMI) is the key interface between the driver and the ETCS system. The ETCS DMI is located centrally on the driver’s console. The data entry for the

platziert, sofern die Platzverhältnisse auf dem Fahrzeug dies zulassen. Die Dateneingabe für die SoM (Start of Mission) erfolgt über das ETCS DMI. Fahrzeuggeschwindigkeit und sämtliche ETCS-Informationen sowie Meldungen, inkl. Leuchtmelder der Klasse-B-Systeme (LZB, PZB), werden auf dem ETCS DMI angezeigt.

Für die Bestätigung von ETCS-Meldungen durch den Lokführer steht ein eigener ETCS-Quittiertaster auf dem Führerbedienpult zur Verfügung.

Akustische ETCS-Meldungen werden über die eigens hierfür installierten Lautsprecher emittiert.

3.4 Klasse-B-System LZB / PZB

Falls durch den Fahrzeugeigner gefordert, bleiben Klasse-B-Systeme wie LZB und PZB weiterhin verfügbar. Das bestehende Zug-sicherungssystem und dessen Anbauteile (Antennen, Radar, Magnet) werden entweder unverändert weiterverwendet, modifiziert oder ersetzt. Das gleiche gilt auch für die PZB-Bedienelemente im Führerstand.

3.5 ETCS-Fahrzeugbefehle TCO, EB, SB

Das ETCS muss im Interventionsfall die Möglichkeit besitzen, in das Traktions- und Bremssystem des Fahrzeugs einzugreifen. Hierfür werden folgende Funktionen implementiert:

- Traktionsabschaltung (Traction Cut Off, TCO)
- Zwangsbremmung (Emergency Brake, EB)
- optional: Betriebsbremmung (Service Brake).

Es handelt sich um diskrete Signale, welche auf eigens hierfür verlegten Leitungen übertragen werden.

3.6 Fahrdatenschreiber / JRU

Die TSI ZZS gibt eine Schnittstelle zwischen ETCS und Juridical Recording Unit (JRU) zur gesetzlichen Fahrdatenaufzeichnung für behördliche Zwecke vor. Folglich wirkt sich der ETCS-Retrofit auf die bestehende JRU aus.

Die JRU ist ein Element des Teilsystems „Fahrzeuge“ und (heute) durch die TSI LOC&PAS abgedeckt. Die aufzuzeichnenden Überwachungsdaten sind in der TSI LOC&PAS und TSI OPE definiert. Die JRU ist ein integrierter Bestandteil der Fahrzeugarchitektur, und es können auf dem Safety Board der JRU zusätzliche Fahrzeugfunktionen implementiert sein, wie z. B. Sicherheitsfahr-schalter (SiFa) und Rückrollschutz.

Das Stadler ETCS-Retrofitkonzept sieht bezüglich JRU die Trennung von normativ verpflichtender Fahrdatenaufzeichnung und zusätzlichen Fahrzeugfunktionen vor. Um einen ETCS-Retrofit ohne Einbezug des Fahrzeugherstellers zu ermöglichen, wird die bestehende JRU nur dann um ETCS-Funktionen erweitert, falls keine Fahrzeugfunktionen darin implementiert sind. Ist dies nicht der Fall, erhält das Fahrzeug eine zusätzliche JRU für ETCS-Funktionen.

3.7 Zulassung

Die Fahrzeugzulassung erfolgt gemäß dem durch die ERA im vierten Eisenbahnpaket definierten Prozess. In den meisten Fällen wurde das Bestandsfahrzeug nach dem damaligen Normenstand und in der Regel nicht nach TSI LOC&PAS zugelassen. Änderungen am bestehenden System müssen jedoch nach aktuellen Normen bewertet werden. Dies stellt erhöhte Anforderungen an die Nachweisführung, da z. B. Festigkeitsnachweise neu erstellt und aktuelle Brandschutzanforderungen eingehalten werden müssen. Der Nachweis der sicheren Integration in das und insbesondere der Rückwirkungsfreiheit zum bestehenden System ist gemäß gültigen TSI zu erbringen. Dies ist ein weiterer Grund, den Eingriff in das Fahrzeug auf ein Minimum zu begrenzen.

SoM (Start of Mission) is performed using the ETCS DMI. The DMI shows the vehicle speed and all the other ETCS information, as well as any messages, including symbols from the Class-B systems (LZB, PZB).

A pushbutton on the driver's console is installed for the acknowledgement of the ETCS messages.

Loudspeakers are installed for any acoustic messages.

3.4 The LZB / PZB Class-B system

The existing LZB/PZB Class-B systems may continue to be available on the vehicle based on the customer's specifications. The existing elements (e.g. the antenna, radar and magnet) can either remain on the vehicle or have to be modified or replaced. This is also the case for the LZB/PZB elements on the driver's console.

3.5 The ETCS TCO, EB and SB vehicle commands

ETCS has to have the ability to intervene in the vehicle's traction and braking systems. The following signals are implemented for this reason:

- Traction Cut Off: TCO
- Emergency Brake: EB
- Optional: Service Brake: SB.

The signals are hardwired.

3.6 The Data Recorder (JRU)

TSI CCS requires an interface between ETCS and the train's data recorder for the statutory recording of operating data. As a consequence, the implementation of ETCS has an effect on the existing data recorder (often referred to as the Juridical Recording Unit (JRU)).

The JRU is a component of the "vehicle" system and is covered (today) by TSI LOC&PAS. The operating data to be recorded is defined in TSI LOC&PAS and TSI OPE. The JRU is a component that is integrated into the vehicle's architecture and, in some cases, the safety related functions (e.g. the dead man's handle, rollback protection) may be implemented on the JRU safety board.

The Stadler ETCS retrofit concept foresees the separation of the recording of the operating data from the safety related functions. In the case of an ETCS retrofit without the involvement of the vehicle OEM, the existing JRU functionality can only be expanded with ETCS signals if no safety related vehicle functions are implemented. If this is not the case, an additional JRU for ETCS functionalities may need to be installed.

3.7 Homologation

The vehicle is homologated following the process defined by the "4th Railway Package". In most cases, the vehicle has not originally been homologated according to the current TSI LOC&PAS requirements, but in line with the standards and regulations of its year of manufacture. Any modifications to the existing vehicles and their subsystems, however, must be evaluated according to the current standards. This fact increases the level of complexity in the evaluation process, since additional structural strength calculations may have to be created or fire safety requirements may have to be respected, for example. The evidence of the safe integration of the ETCS components into the system is provided according to the corresponding TSI. This is another reason for keeping the amount of modifications in the vehicle to a minimum.

3.8 Projektorganisation

Stadler übernimmt über alle Phasen hinweg die Projektleitung und wird durch kompetente Partner unterstützt. Hauptaufgaben sind die Koordination des Projektteams, das Fahrzeug-Engineering mit Ausarbeitung von Integrations- und Genehmigungskonzepten sowie Umbaudokumenten und die Erstellung von Sicherheitsbewertungen, Nachweisen und Genehmigungsdokumenten. Des Weiteren beauftragt Stadler die Benannten, Bestimmten und unabhängigen Bewertungsstellen NoBo, DeBo, AsBo sowohl für den Teilbereich ZZS als auch für TSI LOC & PAS.

Der Umbau erfolgt durch zertifizierte Fachwerkstätten, beispielsweise kann dabei auf Werkstätten des Auftraggebers / ECM (Entity in Charge of Maintenance) des Fahrzeugs zurückgegriffen werden.

Der Auftraggeber, in der Regel der Fahrzeughalter, nimmt die Rolle des Antragstellers bei der Genehmigungsstelle ERA oder Eisenbahn-Bundesamt (EBA) (in Deutschland) ein und bleibt auch nach dem Retrofit der Halter der Fahrzeugzulassung.

4 Fazit und Ausblick

In diesem Beitrag sind wir auf die Komplexität des ETCS-Retrofits eingegangen. Neben der Lösung von technischen Fragestellungen und der Koordination des Projektteams sind Fachkompetenz in der Nachweisführung und Sicherheitsbewertung gemäß EN 50128 und EN 50129, sowie Kenntnisse des Zulassungsverfahrens gemäß Viertem ERA Eisenbahnpaket gefordert.

Die Sektorinitiative DSD identifiziert eine große Anzahl von FoC-Projekten und setzt für die Erfüllung der Rolloutplanung eine hohe Umsetzungsgeschwindigkeit voraus.

Gleichzeitig erlebt die Schienenfahrzeugindustrie bei Neufahrzeugen große Fortschritte im Bereich Fahrassistenzsysteme (Automated Train Operation, ATO) mit unterschiedlichen Automatisierungsgraden. Diese setzen ein komplett in die Fahrzeugarchitektur integriertes ETCS voraus. Bei der Ausrüstung von Bestandsfahrzeugen mit ETCS erhöhen zusätzliche Anforderungen aus dem Bereich ATO die Komplexität erheblich, und es muss durch den und zusammen mit dem Auftraggeber ein verhältnismäßiger Mittelweg gefunden werden zwischen dem Wunsch nach zusätzlichen Features einerseits und einer zeitnahen Umsetzung andererseits. Dies setzt auch aufseiten des Auftraggebers ein gewisses Maß an Flexibilität voraus. Der Auftraggeber beeinflusst durch die Wahl der Anforderungen das Projekt wesentlich mit.

Stadler hat gezeigt, dass der ETCS-Retrofit von modernen Schienenfahrzeugen vollständig ohne Einbezug des Fahrzeugherstellers möglich ist. Für zukünftige Projekte können diese Lösung und diese Vorgehensweise auf weitere Fahrzeugtypen angewendet werden. ■

AUTOR | AUTHOR

Dipl.-Ing. Bernd Göbbel

Angebotsprojektleiter ETCS / Bid Manager ETCS

Stadler Signalling AG

Anschrift / Adresse: Alte Winterthurerstraße 14b, CH-8304 Wallisellen

E-Mail: bernd.goebbel@stadlerrail.com

3.8 Project organisation

Stadler leads the project throughout all the phases and is supported by competent partners. The main areas of work include the coordination of the project teams, solution engineering, including the creation of concepts for vehicle integration, retrofitting manuals and the homologation strategy, as well as the creation of the safety evaluation and the set of documents for homologation. In addition, Stadler also appoints independent NoBo, DeBo and AsBo assessors, both for the LOC&PAS and the CCS sub-system.

The retrofitting itself takes place at certified workshops. If available, the workshops of the customer or the Entity in Charge of Maintenance (ECM) may be used.

The customer, who in most cases is also the vehicle owner, assumes the role of the Applicant for the homologation at the ERA and remains the holder of the vehicle's homologation.

4 Summary and outlook

In this article, Stadler has described the complexity of an ETCS retrofit project. In addition to finding solutions to technical tasks and coordinating the project teams, the main skills required include know-how pertaining to safety analyses according to EN 50128 and EN 50129 and experience with the ERA homologation process.

The DSD sector initiative has identified a large number of FoC projects and mandated short lead times for the rollouts.

At the same time, the railway industry is witnessing vast improvements in the area of driver assistance systems (Automatic Train Operation, ATO) with different grades of automation for mainline operations. These systems assume an ETCS that has been fully integrated into the vehicle architecture and TCMS. Additional requirements for ATO greatly increase the complexity of any ETCS retrofit projects. Therefore, a compromise has to be achieved between the request for additional features and the desire for a short project lead time. This necessitates a certain level of flexibility on the customer's part. The customer has a strong influence on the project through the definition of the relevant requirements.

Stadler has demonstrated, that the ETCS retrofitting of modern railway vehicles is possible without the involvement of the OEM. The solutions and procedures for this concept can also be applied to additional vehicle types in the future. ■

LITERATUR | LITERATURE

[1] Digitale Schiene Deutschland (digitale-schiene-deutschland.de)

[2] ETCS Migrationsstrategie (dbnetze.com)

[3] Verband der Bahnindustrie

[4] List of Authorisations (europa.eu)

[5] TSI OPE DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) 2019/773

[6] TSI LOC&PAS VERORDNUNG (EU) Nr. 1302/2014 inklusive aller gültiger Anhänge

[7] TSI ZZS 2023 DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) 2023/1695

[8] AngelStar – Automatic trains protection made simple; www.angelstarcompany.com

ETCS- und LZB80E-Nachrüstung von Bestandsfahrzeugen – die Lokomotive BR101

ETCS and LZB80E retrofits on existing vehicles – the Class 101 locomotive

Udo Rabeneck | Nicolas Wagner | Jan Wiese | Daniel Engelhardt

Im Rahmen eines Kooperationsprojekts zwischen der DB Systemtechnik und Siemens Mobility wurde eine Lokomotive der Baureihe (BR) 101 mittels einer teilintegrierten Lösung zur Nachrüstung des European Train Control System (ETCS) modernisiert. Dieser Beitrag ordnet das Projekt aus Sicht der Betreiber und der Industrie in das aktuelle Umfeld ein, beschreibt die technische Umsetzung und die Vorgehensweise bei der Nachweisführung.

1 Einführung

„Das Zielbild der Digitalen Schiene Deutschland stellt ein vollständig digitales, hochautomatisiertes Bahnsystem dar – vom Gleis bis zum Zug [...]“ [1]. Im deutschen Bahnsystem sind über 13 000 Fahrzeuge im Einsatz. Eine „vollständige“ Digitalisierung, wie im Zielbild der Digitalen Schiene Deutschlands definiert, schließt diese Fahrzeuge mit ein. Sie erfordert die Hochrüstung ihrer Zugsicherungs- und -beeinflussungssysteme auf ETCS entsprechend der „Technischen Spezifikation für die Interoperabilität“, kurz TSI. Die digitale Hochrüstung der Bestandsfahrzeuge ist eine technisch, zeitlich und wirtschaftlich anspruchsvolle Aufgabe.

Auch in Deutschland werden zukünftig mehr Streckenabschnitte mit dem europäisch einheitlichen Zugbeeinflussungssystem ETCS ausgerüstet werden. Um diese Strecken weiterhin befahren zu können, ist die Aus- bzw. Nachrüstung von Bestandsfahrzeugen mit ETCS erforderlich. Da solche Nachrüstungen von Bestandsfahrzeugen in der Vergangenheit sehr aufwendig waren und in der Regel eine sehr kostenintensive Einbindung des Fahrzeugherstellers erforderten, ist das allgemeine Ziel, ETCS-Nachrüstungen zukünftig zu vereinfachen, indem die Komplexität reduziert und damit die Kosten gesenkt werden.

Um eine Möglichkeit zur komplexitätsreduzierten ETCS-Nachrüstung eines Bestandsfahrzeugs zu erproben, haben DB Systemtechnik und Siemens Mobility vereinbart, im Rahmen eines Kooperationsprojektes eine Lokomotive der BR101, die im Besitz der DB Systemtechnik ist (101 020-6), ohne Einbindung des Fahrzeugherstellers mit ETCS nachzurüsten.

Im Rahmen dieser Nachrüstung sollte auch das vorhandene nationale Zugbeeinflussungssystem LZB80/16 ausgebaut und durch eine neues LZB80E ersetzt werden. Eine besondere Herausforderung bestand darin, die ETCS- und LZB80E-Fahrzeugausrüstung an die vorhandene Fahrzeugsteuerung anzubinden, ohne die Software der vorhandenen zwei Zentralen Zugsteuergeräte (ZSG) der Lok anpassen zu müssen.

2 Nachrüstung der Lok BR101 mit einer ETCS- und LZB80E-Fahrzeugeinrichtung

2.1 Ausbau der vorhandenen LZB80/16 Fahrzeugeinrichtung
Der vorhandene Schrank, in dem der Fahrzeugrechner der LZB80/16 untergebracht war, wurde ausgebaut. In dem frei gewordenen Platz

A Class 101 locomotive has been modernised using a partially integrated solution for retrofitting the European Train Control System (ETCS) as part of a joint project between DB Systemtechnik and Siemens Mobility. This article places the project in the correct context from the point of view of the operators and the industry and describes the technical implementation and the verification procedure.

1 Introduction

“The vision of Digitale Schiene Deutschland is a fully digital, highly automated rail system – from track to train [...]” [1]. There are more than 13,000 vehicles in use in the German rail system. “Full” digitalisation, as defined in the vision of Digitale Schiene Deutschland, includes all these vehicles. It requires their train control systems to be upgraded to ETCS in accordance with the “Technical Specification for Interoperability”, or TSI for short. Digital upgrades of existing vehicles are a technically difficult, time-consuming and expensive task. In many countries, including Germany, more and more sections of track are now being equipped with the standardised European automatic train control system known as ETCS. Existing vehicles must be equipped with/upgraded to ETCS train control systems if they are to continue running on these lines.

In the past, such retrofits on existing vehicles were highly complex and usually required the very cost-intensive involvement of the vehicle manufacturer, so the general goal is to simplify ETCS retrofits in the future by reducing their complexity and thus lowering costs.

In order to test one option of reducing ETCS retrofit complexity in an existing vehicle, DB Systemtechnik and Siemens Mobility agreed on a joint project to retrofit a Class 101 locomotive owned by DB Systemtechnik (101 020-6) with ETCS without involving the vehicle manufacturer.

This retrofit also planned to remove the existing LZB80/16 national train control system and replace it with a new LZB80E. A particular challenge involved connecting the ETCS and LZB80E on-board equipment to the existing vehicle control system without having to adapt the software in the locomotive’s two existing central control units (CCUs).

2 Retrofitting the Class 101 locomotive with ETCS and LZB80E on-board equipment

2.1 Removing the existing LZB80/16 on-board equipment

The existing cabinet housing the LZB80/16 on-board computer was removed. A new ATP cabinet containing the on-board computers for the ETCS and LZB80E on-board equipment

wurde ein neuer ATP-Schrank (Automatic Train Protection) installiert, welcher die Fahrzeugrechner für die ETCS- und LZB80E-Fahrzeugeinrichtung beinhaltet. Aufgrund der kleinen Bauform der ETCS- und LZB80E-Fahrzeugeinrichtung war es möglich, diese in dem Einbauraum, in dem sich zuvor nur der Fahrzeugrechner der LZB80/16 befunden hatte, mit unterzubringen.

Sowohl die vorhandenen LZB-Antennen als auch die PZB-Fahrzeugeinrichtung und die vorhandene Bremswirkgruppe wurden weiterverwendet.

2.2 Versionen der neu eingebauten ETCS- und LZB80E-Fahrzeugeinrichtungen

Die ETCS-Fahrzeugeinrichtung wurde gem. der Spezifikationsgruppe #3 der TSI ZZS 2016, im Änderungsstand 2020 (Baseline 3 Release 2) entwickelt (Technische Spezifikation für die Interoperabilität der Teilsysteme „Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung“) und kann in den folgenden ETCS-Levels betrieben werden:

- ETCS Level 0
- ETCS Level 1 (inkl. der Betriebsweise Limited Supervision)
- ETCS Level 2
- ETCS Level NTC.

Die LZB80E-Fahrzeugeinrichtung beinhaltet die folgenden Funktionalitäten:

- PZB-Betriebsweise (PZB90)
- PZB-Störbetrieb (Überwachung auf 50 km/h)
- LZB-Betriebsweise CIR-ELKE-I.

Die LZB80E wird als Semi-STM unter ETCS im Level NTC betrieben. Da die LZB80E ein eigenständiges ATP-System ist, kann die LZB80E bei ausgeschaltetem ETCS-EVC (European Vital Computer) auch eigenständig im sogenannten „Stand Alone Betrieb“ eingesetzt werden.

2.3 Komponenten der ETCS- und LZB80E-Fahrzeugeinrichtung

Für die ETCS- und LZB80E-Fahrzeugeinrichtung wurden die folgenden Komponenten installiert:

2.3.1 Komponenten im Unterflur- und Drehgestellbereich

- Zwei Wegimpulsgeber zum Anschluss an den EVC
- Ein Radarsensor zum Anschluss an den EVC
- Ein Radarsensor zum Anschluss an den EVC und an das LZB80E-Fahrzeuggerät. Da dieser Radarsensor über zwei Anschlüsse verfügt, kann er von ETCS und der LZB80E gemeinsam verwendet werden.
- Eine Eurobalisenantenne zum Lesen von Eurobalisen und Euroloops. Die bereits vorhandenen vier LZB-Antennen sowie zwei PZB Fahrzeugeinrichtungen und zwei Wegimpulsgeber, die von der ausgebauten LZB80/16 verwendet wurden, konnten bestehen bleiben und wurden an das neue LZB80E-Fahrzeuggerät angeschlossen.

2.3.2 Komponenten im Maschinenraum der Lokomotive

Außerhalb des ATP-Schranks wurde im Maschinenraum noch ein Fahrdatenschreiber eingebaut, welcher Daten vom ETCS- und LZB80E-System sowie weitere Daten aus der Lok aufzeichnet.

2.3.3 Komponenten in den Führerständen der Lokomotive

In den beiden Führerständen der Lokomotive wurde jeweils die vorhandene Modulare Führerraumanzeige (MFA) aus dem Führerisch ausgebaut. In dem frei gewordenen Platz konnte so jeweils ein Doppeldisplay eingebaut werden. Auf diesen Doppeldisplays werden Anzeigen für die ETCS- und für die LZB80E-Fahrzeugeinrichtung dargestellt sowie Bedienhandlungen für diese beiden ATP-Systeme durchgeführt. Zusätzlich werden auf diesen Displays maschinentechnische Anzeigen der Lokomotive angezeigt. Akustische Signale, ins-

was installed in the vacated space. The smaller dimensions of the ETCS and LZB80E on-board computers made it possible to accommodate them in the installation space that had previously only contained the LZB80/16 on-board computer. The existing LZB antennas, the Indusi magnets and the existing brake activating unit were all reused.

2.2 The versions of the newly installed ETCS and LZB80E on-board equipment

The ETCS on-board equipment was developed in accordance with specification group #3 of the 2016 CCS TSI, as amended in 2020 (Baseline 3 Release 2) (Technical specification for interoperability relating to the “control-command and signalling” subsystems) and can be operated at the following ETCS levels:

- ETCS Level 0
- ETCS Level 1 (incl. Limited Supervision mode)
- ETCS Level 2
- ETCS Level NTC.

The LZB80E on-board equipment includes the following functions:

- PZB mode (PZB90)
- PZB fault mode (monitoring to 50 km/h)
- LZB mode
- CIR-ELKE-I.

The LZB80E is operated as a semi-STM under ETCS at Level NTC. Given that the LZB80E is an independent ATP system, it can also be used independently in so-called “Stand Alone mode” when the ETCS EVC (European Vital Computer) is switched off.

2.3 The components of the ETCS and LZB80E on-board equipment

The following components were installed for the ETCS and LZB80E on-board equipment:

2.3.1 The components in the underfloor and bogie area

- two odometer pulse generators to connect to the EVC
- one radar sensor to connect to the EVC
- one radar sensor to connect to the EVC and to the LZB80E on-board unit. This radar sensor has two connectors so it can be jointly used by ETCS and the LZB80E.
- one Eurobalise antenna for reading Eurobalises and Euroloops. The four existing LZB antennas, two Indusi magnets and two odometer pulse generators, which had been used by the removed LZB80/16, were able to be retained and connected to the new LZB80E on-board unit.

2.3.2 The components in the locomotive machine room

A juridical data recorder was installed outside the ATP cabinet and in the machine room to record data from the ETCS and LZB80E system, as well as other data from the locomotive.

2.3.3 The components in the locomotive's driver cabs

The existing modular driver's cab display (MFA) was removed from the consoles in each of the locomotive's two driver's cabs. A dual display was able to be installed in each vacated space. These dual displays are used to show indications for the ETCS and LZB80E on-board equipment and to perform operator actions for these two ATP systems. In addition, technical indications concerning the locomotive are also shown on these displays. Audible signals, especially voice output for the LZB80E, are played on speakers connected to the dual displays.

besondere Sprachausgaben für die LZB80E, werden über an den Doppeldisplays angeschlossene Lautsprecher ausgegeben.

Im Fehlerfall, wenn eine Displayhälfte gestört ist, kann mit einem Displayumschalter die defekte Displayhälfte ausgeschaltet werden. Auf der verbleibenden Displayhälfte werden dann die wichtigsten Anzeigen für einen ETCS- oder LZB-Betrieb dargestellt (z. B. die Geschwindigkeitsanzeige), um die Fahrt gemäß den betrieblichen Bestimmungen noch fortführen zu können. Da das Doppeldisplay einen kleineren Einbauplatz benötigt als das ausgebaute MFA, konnten noch zusätzlich der Displayumschalter und der Leuchtmelder Ü für die LZB80E auf dem Führertisch neben dem Display angebracht werden. In den beiden Führerständen wurden jeweils zwei Sibas-Klip-Stationen eingebaut, die über digitale Eingänge Signale von den Tastern und Schaltern der ETCS- und LZB-Fahrzeugeinrichtung einlesen und über MVB (Multifunctional Vehicle Bus) an die ETCS- und LZB80E-Fahrzeugrechner sowie an die Fahrdatenschreiber und an die Displays weiterleiten.

2.3.4 Komponenten im Dachbereich

Im Dachbereich der Lokomotive wurden zwei GSM-R/GPS-Kombiantennen installiert. Jede dieser beiden Antennen liefert ein GSM-R und ein GPS-Signal. Die GSM-R Signale der beiden Antennen werden von der ETCS-Fahrzeugeinrichtung für die ETCS-Level 2 (L2)-Funktion verwendet. Jedes der beiden GSM-R Signale wird auf ein GSM-R Mobile geführt. Hierdurch kann im ETCS L2 ein reibungsloser Handover zwischen zwei RBC-Bereichen gewährleistet werden. Das GPS-Signal von einer der beiden Antennen wird als zusätzliches Odometriesignal (neben Signalen von zwei Wegimpulsgebern und zwei Radars) von der ETCS-Fahrzeugeinrichtung verwendet. Das GPS-Signal von der zweiten Antenne wird zum Fahrdatenschreiber geführt. Der Fahrdatenschreiber erhält über dieses GPS-Signal exakte Datums- und Zeitinformationen, welche dieser der ETCS- und LZB-Fahrzeugeinrichtung über den Multifunction Vehicle Bus (MVB) zur Verfügung stellt.

2.4 Schnittstellen der beiden ATP-Systeme zur Fahrzeugsteuerung

In der Lokomotive wurde ein neuer Datenbus, der MVB eingebaut. An diesem MVB sind die folgenden Komponenten angeschlossen und können somit über den MVB miteinander kommunizieren:

- ETCS-EVC
- LZB80E-Fahrzeuggerät
- zwei Displays
- Fahrdatenschreiber
- vier Sibas-Klip-Stationen.

Die Fahrzeugsteuerung der Lokomotive (z. B. die beiden ZSG) sind nicht an den MVB angeschlossen. Der Signalaustausch sowohl zwischen der Fahrzeugsteuerung und der ETCS- und LZB80E-Fahrzeugeinrichtung als auch zum Fahrdatenschreiber oder zu den beiden Displays erfolgt über eine drahtgebundene Anbindung. So werden notwendige Signale von der Fahrzeugsteuerung, wie z. B. die Fahrtrichtung, das Signal „Führerstand besetzt“, oder die Rückmeldung einer ausgelösten Zwangsbremse mittels Kabel zu den Komponenten der ATP-Systeme übertragen. Das Einlesen dieser Signale erfolgt entweder direkt über digitale Eingänge am ATP-System oder über die digitalen Eingänge der Sibas-Klip-Stationen, welche diese Informationen über MVB zu den beiden ATP-Systemen, dem Fahrdatenschreiber und den beiden Displays weiterleiten. Der Fahrdatenschreiber und die beiden Displays verwenden keine eigenen digitalen Eingänge, sie können nur Signale über MVB empfangen.

If a fault occurs causing one half of the display to malfunction, the faulty half of the display can be switched off with a display switch. The other half of the display will then show the most important indications for ETCS or LZB operations (e.g. speed) thereby allowing the journey to continue in accordance with the operating regulations. Given that the dual display requires a smaller installation space than the removed MFA, it was also possible to mount the display switch and the Ü indicator lamp for the LZB80E on the console next to the display.

Two Sibas Klip stations were installed in each of the two driver's cabs. They read signals from the buttons and switches of the ETCS and LZB on-board equipment via digital inputs and forward them via the MVB to the ETCS and LZB80E on-board computers as well as to the juridical data recorders and displays.

2.3.4 The components in the roof area

Two GSM-R/GPS combination antennas were installed in the locomotive's roof area. Each of these two antennas provides a GSM-R and a GPS signal. The GSM-R signals of the two antennas are used by the ETCS on-board equipment for the ETCS Level 2 (L2) function. Each of the two GSM-R signals is routed to a GSM-R mobile. This ensures a smooth handover between two RBC areas in ETCS L2.

The ETCS on-board equipment uses the GPS signal from one of the two antennas as an additional odometry signal (in addition to the signals from the two odometer pulse generators and two radars). The GPS signal from the second antenna is passed to the juridical data recorder. The juridical data recorder receives exact date and time information via this GPS signal, which it then makes available to the ETCS and LZB on-board equipment via the Multifunction Vehicle Bus (MVB).

2.4 The interfaces between the two ATP systems and the vehicle control system

A new data bus, the MVB, was installed in the locomotive. The following components are connected to this MVB and are therefore able to communicate with each other via it:

- ETCS EVC
- the LZB80E on-board unit
- the two displays
- the juridical data recorder
- the four Sibas Klip stations.

The locomotive's vehicle control system (e.g. the two CCUs) are not connected to the MVB. The signal exchange between the vehicle control system and the ETCS and LZB80E on-board equipment, as well as to the juridical data recorder or the two displays, takes place via a "wired" connection. For example, any necessary signals from the vehicle control system, such as the direction of travel, the "driver's cab occupied" signal, or the feedback signal for a triggered automatic train stop are transmitted "by wire" to the ATP system components. These signals are read either directly via digital inputs on the ATP system or via the digital inputs of the Sibas Klip stations, which transmit this information to the two ATP systems, the juridical data recorder and the two displays via the MVB. The juridical data recorder and the two displays do not use their own digital inputs – they can only receive signals via the MVB.

The outputs from the two ATP systems for the vehicle control system (e.g. the brake applications) are also "wired".

2.4.1 Braking intervention by the two ATP systems

The first action path for the ETCS and LZB80E on-board equipment to trigger an automatic train stop involves a brake acti-

Auch die Ausgänge der beiden ATP-Systeme zur Fahrzeugsteuerung (wie z. B. die Bremsengriffe) werden drahtgebunden ausgeführt.

2.4.1 Bremsengriffe von den beiden ATP-Systemen

Der erste Wirkweg zur Auslösung einer Zwangsbremse wird für die ETCS- und LZB80E-Fahrzeugeinrichtung jeweils über eine Bremswirkgruppe (BWG) realisiert. Hierzu wurde für die ETCS-Fahrzeugeinrichtung eine neue Bremswirkgruppe der Fa. Knorr in die Druckluftanlage der Lokomotive eingebaut. Für die LZB80E konnte die bereits vorhandene Siemens-Bremswirkgruppe weiterverwendet werden.

Der zweite Wirkweg zur Auslösung einer Zwangsbremse erfolgt bei beiden ATP-Systemen durch Eingriff in die vorhandene Schnellbremschleife der Lokomotive.

Der ETCS-EVC kann neben einer Zwangsbremse auch eine Betriebsbremse und eine Traktionsabschaltung (Traction Cut Off) auslösen. Die entsprechenden Ausgangssignale werden verkabelt vom ETCS-EVC zur Fahrzeugsteuerung übertragen.

2.5 AFB-Funktion

Seitens der DB Systemtechnik bestand der Wunsch, die AFB-Funktionalität beizubehalten. Die AFB-Funktion (Automatisches Fahren und Bremsen) wird durch die beiden ZSG der Lokomotive realisiert. Vor dem Umbau erhielten die ZSG hierzu Informationen von der LZB80/16 über einen 60 V-Bus. Nach dem Umbau sollte diese AFB-Funktion zumindest im LZB-Betrieb (in Stand Alone oder im ETCS Level NTC) weiterhin zur Verfügung stehen. Da die beiden ZSG inkl. ihrer Software nicht verändert werden sollten, bestand eine besondere Herausforderung darin, den beiden ZSG über den 60 V-Bus eine nicht mehr vorhandene LZB80/16 zu simulieren.

Die neue LZB80E besitzt nur Schnittstellen für den MVB aber keine Schnittstelle für den 60 V-Bus. Um dennoch Informationen von der LZB80E zu den 60 V-Schnittstellen der beiden ZSG übertragen zu können, wurde die 60 V-Schnittstellen des Fahrdatenschreibers verwendet. Der Fahrdatenschreiber fungiert hier als Gateway. Der Fahrdatenschreiber entnimmt einzelne Bits aus den MVB-Telegrammen der LZB80E und füllt mit diesen die Telegramme auf dem 60 V-Bus. Der Fahrdatenschreiber simuliert somit am 60 V-Bus für die beiden ZSG eine alte LZB80/16. Somit konnte die AFB-Funktion im LZB-Betrieb aufrechterhalten werden.

2.6 Nachweis / Zulassung

Die Nachrüstung von ETCS auf einem bestehenden Fahrzeugtyp bzw. bestehenden Fahrzeugen stellt eine Änderung dar, für die grundsätzlich eine neue Genehmigung erforderlich ist. Dies ergibt sich aus den europäischen Rechtsvorgaben, die im Zuge des 4. Europäischen Eisenbahnpakets grundlegend überarbeitet wurden. Hervor geht es konkret aus Artikel 15 der Durchführungsverordnung (EU) 2018/545 in Verbindung mit den Kriterien gemäß Artikel 21 Absatz 12 der Richtlinie (EU) 2016/797 und den Vorgaben des Abschnitts 7.2 der TSI ZZS.

Im Rahmen des Kooperationsprojekts wurden die Aktivitäten zum Erreichen der neuen Genehmigung aufgrund der ETCS-Nachrüstung zwischen den Kooperationspartnern aufgeteilt, wobei durchgängig eine enge Abstimmung zwischen den Verantwortlichen bei DB Systemtechnik und Siemens Mobility stattfand.

Die DB Systemtechnik GmbH zeichnete dabei als Antragssteller für die neue Genehmigung und als Änderungsverwaltungsstelle verantwortlich. Gleichzeitig übernahm die DB Systemtechnik die Nachweisführung im Hinblick auf die Änderungen am Fahrzeug aufgrund der ETCS-Nachrüstung gegenüber einer Benannten und einer Bestimmten Stelle für das strukturelle Teilsystem Fahrzeuge. Auch der Prozess zur Erfassung der Anforderungen im Sinne von Artikel 13

vating unit (BAU). A new brake activating unit from Knorr has been installed in the locomotive's compressed air system for the ETCS on-board equipment for this purpose. The existing Siemens brake activating unit was able to be used with the LZB80E. In both ATP systems, the second action path to trigger an automatic train stop involves intervention in the locomotive's existing emergency brake loop.

In addition to an automatic train stop, the ETCS EVC can also trigger a service brake and a traction cut-off. The corresponding output signals are transmitted "by wire" from the ETCS EVC to the vehicle control system.

2.5 The ASC function

The ASC function (automatic speed control) is implemented by the locomotive's two CCUs. Before the conversion, the CCUs received information from the LZB80/16 over a 60 V bus. After the conversion, the plan was for this ASC function to continue to be available at least in LZB operations (in Stand Alone mode or in ETCS level NTC). Given the fact that the two CCUs, including their software, were not going to be changed, it proved a particular challenge to simulate the LZB80/16, which was no longer present, for the two CCUs via the 60 V bus.

The new LZB80E only has interfaces for the MVB, but no interface for the 60 V bus. Therefore, the 60 V interfaces of the juridical data recorder were used to allow information to be transmitted from the LZB80E to the 60 V interfaces of the two CCUs. The juridical data recorder acts as a gateway here. The juridical data recorder takes individual bits from the LZB80E MVB telegrams and uses them to populate the telegrams for the 60 V bus. The juridical data recorder therefore simulates an old LZB80/16 on the 60 V bus for the two CCUs. This allowed the ASC function to be maintained in LZB operations.

2.6 Verification / approval

The retrofitting of ETCS on an existing vehicle type or on existing vehicles involves a modification for which a new approval is generally required. This is due to the European legal requirements, which were fundamentally revised as part of the Fourth Railway Package. This is specifically set out in Article 15 of Implementing Regulation (EU) 2018/545 in conjunction with the criteria set out in Article 21(12) of Directive (EU) 2016/797 and the requirements of Section 7.2 of the CCS TSI.

As part of the joint project, the activities aimed at obtaining the new approval necessitated by the ETCS retrofit were divided between the cooperation partners, with close coordination between those responsible at DB Systemtechnik and Siemens Mobility throughout the process.

DB Systemtechnik GmbH was responsible for the new approval as both the applicant and the change management body. Meanwhile, DB Systemtechnik handled the verification of the modifications to the rolling stock due to the ETCS retrofit in relation to a notified and designated body for the rolling stock structural subsystem. DB Systemtechnik was also responsible for the requirement capture process described in Article 13 of Implementing Regulation (EU) 2018/545.

Siemens Mobility was responsible for verifying the modified parts of the on-board CCS subsystem up to the preparation of a corresponding EC declaration of verification.

Particular challenges in connection with the verification arose on the one hand from the changes to the underlying regulations during the project period (NNTR and 2023 CCS TSI) and on the other hand from dealing with deviations from the applica-

der Durchführungsverordnung (EU) 2018/545 wurde seitens DB Systemtechnik verantwortet.

Siemens Mobility war verantwortlich für die Nachweisführung der geänderten Teile des fahrzeugseitigen ZZS-Teilsystems bis zur Erstellung einer entsprechenden EG-Prüferklärung.

Besondere Herausforderungen im Zusammenhang mit der Nachweisführung entstanden zum einen aus Änderungen der zugrunde liegenden Regelwerke während der Projektlaufzeit (NNTR und TSI ZZS 2023) und zum anderen im Umgang mit Abweichungen zum gültigen Regelwerk, die aufgrund der Eigenschaften und Historie des Bestandsfahrzeugs bestehen. Die enge Abstimmung zwischen den Kooperationspartnern und die klare Definition der jeweiligen Verantwortlichkeiten im Bereich der Nachweisführung hat maßgeblich zum Erfolg des Projekts beigetragen.

Ein hochgerüstetes Pilotfahrzeug (First of Class – „FoC“) muss nach der Integration des ETCS-Systems wieder neu zugelassen werden. Eine besondere Herausforderung stellt dabei die Tatsache dar, dass die Bestandsfahrzeuge in der Regel nach einem alten, heute nicht mehr gültigen Stand von Regelwerken (Normen, Gesetze, Spezifikationen, Verfahren) konstruiert und zugelassen wurden. Das hier beschriebene Beispiel hat gezeigt, dass die Hochrüstung der Zug-sicherungstechnik nicht ohne Änderungen am Fahrzeug selbst erfolgen kann.

Bestandsschutzregeln sind somit Grundvoraussetzung für die Wiederzulassung von Bestandsfahrzeugen nach der digitalen Hochrüstung. Gewisse Änderungen am Fahrzeug können den Bestandsschutz verletzen und die Wiederzulassung infrage stellen. Ein Fahrzeug aus dem letzten Jahrhundert vollständig nach dem aktuell gültigen Regelwerk (u.a. TSI Loc&Pas) wiederzuzulassen, ist nahezu unmöglich.

3 Wirtschaftlichkeit

Der grundsätzliche Vorteil einer teilintegrierten ETCS-Nachrüstung besteht im Vergleich zum vollintegrierten Lösungsansatz in der Wirtschaftlichkeit. Anhand der teilintegrierten Ausrüstungsvariante der BR101 sollte aufgezeigt werden, dass ETCS-Anlagen auch ohne Fahrzeughersteller nachgerüstet werden können, wenn die TCMS-Software (Train Control & Management System) nicht angepasst werden muss. Dies spart Zeit, verschlankt den Zulassungsprozess und stellt schließlich eine deutlich weniger kostenintensive ETCS-Lösung dar. Dies steigert vor allem die Attraktivität für kleinere Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU), weil schon bei wenigen umzurüstenden Fahrzeugen eine Wirtschaftlichkeit gegeben ist, die sich im Vergleich zu vollintegrierten ETCS-Systemen erst bei hohen Stückzahlen einer Serien- bzw. Flottenumrüstung einstellen würde.

Man kann zusammenfassen, dass die digitale Hochrüstung eines Bestandsfahrzeuges je nach seinem betrieblichen Einsatz unterschiedlich großes wirtschaftliches Potenzial hat. Diese Tatsache kann als Auswahlkriterium für den Funktionsumfang der Hochrüstung verwendet werden. Eine Unterscheidung des geforderten Umfangs anhand des Fahrzeugtyps (Lok, Triebzug, Baufahrzeug, ...) ist zwingend notwendig. Eine weitere Differenzierung anhand der Kosten der Fahrzeughochrüstung im Verhältnis zu ihrem erwartbaren Nutzen wurde bereits vom Verband der Bahnindustrie (VDB) mit der Definition von „Ausrüstungsclustern“ angeregt. Komplexere Funktionen (ATO, virtuelle Blöcke) sollten für Fahrzeuge spezifiziert werden, wenn ihr zusätzlicher Nutzen im Betrieb den zusätzlichen Aufwand der Implementierung rechtfertigt. Ist dies nicht der Fall, muss funktional reduziert werden. Die Möglichkeit der funktionalen Reduktion unterstützen die „teilintegrierten Ansätze“ für die Nachrüstung mit ETCS. Dies re-

ble regulations that exist due to the characteristics and history of the existing vehicle. The close coordination between the cooperation partners and the clear definition of the respective responsibilities in the area of verification contributed significantly to the success of the project.

An upgraded pilot vehicle (First of Class – “FoC”) must be re-approved after the integration of the ETCS system. A particular challenge here involves the fact that the existing vehicles were usually designed and approved according to a version of the regulations (standards, laws, specifications, procedures) that is no longer valid today. The example described here demonstrates that the upgrade of the train control technology cannot be carried out without making modifications to the vehicle itself.

Grandfathering rules are therefore a basic prerequisite for the re-approval of existing vehicles after the digital upgrade. Certain modifications to the vehicle might violate the grandfathering arrangements and call into question the re-approval. It is almost impossible to fully re-approve a vehicle from the last century according to the currently valid regulations (including the Loc&Pas TSI).

3 Cost-effectiveness

The fundamental advantage of a partially integrated ETCS retrofit compared to the fully integrated solution approach lies in its cost-effectiveness. The partially-integrated equipment variant of the Class 101 was intended to show that ETCS systems can also be retrofitted without a vehicle manufacturer, because the TCMS software (Train Control & Management System) does not have to be adapted. This saves time, streamlines the approval process and ultimately represents a much less cost-intensive ETCS solution. This increases the attractiveness for smaller railway companies (RU) in particular, because even with a small number of vehicles to be converted, the resulting cost-effectiveness, compared to fully integrated ETCS systems, would only be achieved with high numbers in a series or fleet conversion.

In summary, the digital upgrade of an existing vehicle has varying economic potential depending on its operational use. This fact can be used as a selection criterion for the functional scope of the upgrade. It is imperative to differentiate between the required scope on the basis of the vehicle type (locomotive, multiple unit, construction vehicle, ...). A further differentiation based on the costs of the vehicle upgrade in relation to its anticipated benefits has already been suggested by the German Railway Industry Association (VDB) with the definition of “equipment clusters”. More complex functions (ATO, virtual blocks) should be specified for vehicles if their additional benefit in operations justifies the additional effort of the implementation. Otherwise, a functional reduction must take place.

The possibility of a functional reduction is supported by the “partially-integrated approaches” for retrofitting with ETCS. This reduces the effort involved in the conversion and thus also saves time and capacities. The so-called “partially-integrated approach” avoids more complex and costly modifications to the vehicle, which greatly simplifies integration.

4 Outlook

According to the “Equipping and converting rail vehicles with ETCS on-board units” concept proposal of the German Railway Industry Association, the railway sector is faced with a mam-

duziert Aufwände in der Umrüstung und spart somit auch Zeit und Kapazitäten. Beim sogenannten „teilintegrierten Ansatz“ werden komplexere und aufwendigere Veränderungen am Fahrzeug vermieden, was die Integration erheblich vereinfacht.

4 Ausblick

Bezugnehmend auf den Konzeptvorschlag des Verbands der Bahnindustrie „Aus- und Umrüstung von Schienenfahrzeugen mit ETCS-Bordgeräten“ sieht sich der Eisenbahnsektor einer Mammutaufgabe gegenüber. Bis ca. 2030 gilt es die im deutschen Netz verkehrenden Fahrzeuge mit ETCS auszustatten. Hier wird eine Größenordnung von 12 750 Fahrzeugen (Stand 2021) angegeben, welche sich wiederum in 350 sog. First of Class (FoC) Umrüstungen herunterbrechen lässt. Jede einzelne dieser FoC Umrüstungen bedarf eines prototypischen Engineerings mit eigener Anlagenkonfiguration, einem Musterumbau, Feldtests und einem Zulassungsprozess. Erst dann ist man in der Lage, eine Serienumrüstung an den restlichen Fahrzeugen der jeweiligen Flotten umzusetzen.

Neben der zeitlichen Komponente für die Umrüstungen stellt auch die Finanzierung eine Herausforderung dar. Der Förderschwerpunkt liegt deutlich auf der ETCS-Infrastruktur und weniger auf der ETCS-Fahrzeugausrüstung. Als zentraler Baustein des digitalen Ausbaus der Schiene gibt es hier massiven Nachbesserungsbedarf, um die einzelnen EVU nicht die vollständigen Kosten für ETCS-Nachrüstungen in Bestandsflotten oder ggf. Neubeschaffungen von ETCS-fähigen Fahrzeugen tragen zu lassen.

Die Herausforderung, die Bestandsflotte digital hochzurüsten, kann auch unter den Bedingungen von begrenzter Zeit und wirtschaftlichem Druck so gestaltet werden, dass die Ziele „mehr Kapazität“ und „höhere Qualität“ des Bahnsystems erreicht werden. Die Unternehmen des Bahnsektors und der Lieferindustrie befinden sich im partnerschaftlichen Dialog und arbeiten mit großem Interesse an einer nachhaltigen und effizienten Lösung für ein leistungsstarkes Zugsicherungssystem für Deutschland. ■

moth task. By around 2030, vehicles operating in the German network must have been equipped with ETCS. The stated figure is in the order of 12,750 vehicles (as of 2021), which can in turn be broken down into 350 so-called First of Class (FoC) conversions. Each of these FoC conversions requires prototype engineering with a dedicated system configuration, a sample conversion, field tests and an approval process. Only then will it be possible to implement a series conversion on the remaining vehicles of the respective fleets.

In addition to the time factor, financing is also a challenge for these conversions. Whereas the investments for the trackside ETCS rollout are subsidised by the state, no subsidies have been earmarked for ETCS on-board equipment. There is a massive need for improvement here as a central component of the digital expansion of the railways so that the individual RUs are not made to bear the full costs of the ETCS retrofits in existing fleets or, if necessary, new purchases of ETCS-capable vehicles.

The challenge of digitally upgrading the existing fleet can be organised in such a way that the goals of “more capacity” and the “higher quality” of the rail system are achieved, even under circumstances of limited time and economic pressure.

The companies in the rail sector and the supply industry are engaged in a collaborative dialogue and are working with great interest on a sustainable and efficient solution for a high-performance train control system for Germany. ■

AUTOREN | AUTHORS

Udo Rabeneck

System Manager / System Manager
Siemens Mobility GmbH
Anschrift / Address: Ackerstraße 22, D-38126 Braunschweig
E-Mail: udo.rabeneck@siemens.com

Nicolas Wagner

Zulassungsmanager / Approval Manager
Siemens Mobility GmbH
Anschrift / Address: Kieffholzstraße 44, D-12435 Berlin
E-Mail: nicolas.wagner@siemens.com

Jan Wiese

Projektleiter / Project Manager
Siemens Mobility GmbH
Anschrift / Address: Kieffholzstraße 44, D-12435 Berlin
E-Mail: jan.wiese@siemens.com

Daniel Engelhardt

Projektleiter / Project Manager
DB Systemtechnik
Anschrift / Address: Johannisstraße 58, D-50668 Köln
E-Mail: daniel.engelhardt@deutschebahn.com

LITERATUR | LITERATURE

[1] [https://digitale-schiene-deutschland.de/Vision-und-Zielbild#:~:text=Das%20Zielbild%20der%20Digitalen%20Schiene%20Deutschland%20stellt%20ein%20vollst%C3%A4ndig%20digitales,Automatic%20Train%20Operation%20\(%20ATO%20](https://digitale-schiene-deutschland.de/Vision-und-Zielbild#:~:text=Das%20Zielbild%20der%20Digitalen%20Schiene%20Deutschland%20stellt%20ein%20vollst%C3%A4ndig%20digitales,Automatic%20Train%20Operation%20(%20ATO%20)



InnoTrans 2024, 24. – 27. September 2024, Berlin

Internationale Fachmesse für Verkehrstechnik
Innovative Komponenten · Fahrzeuge · Systeme

+++ News +++ News +++ News +++ News +++

International und hochkarätig wie die Messe

Sie ist der Treffpunkt für das Who-is-Who der Mobilitätsbranche: die Eröffnungsveranstaltung der InnoTrans 2024 am Dienstagvormittag, den 24. September. Mehr als 1.000 nationale und internationale Spitzenvertreter:innen aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik werden zur Eröffnung im palais.Berlin erwartet. Zu ihrer Begrüßung sprechen Verkehrsminister Dr. Volker Wissing und Dirk Hoffmann, COO der Messe Berlin GmbH. Eingeladen ist auch die EU-Kommissarin für Verkehr Adina VaLEAN. Über das Thema „From Hype to Reality - AI in the mobility sector“ diskutieren nach den Grußworten Dr. Volker Wissing, Dr. Richard Lutz, Chairman of the Board & CEO Deutsche Bahn AG, Mohamed Rabie Khlie, Director General Moroccan National Railways Office (ONCF), Henri Poupart-Lafarge Chairman of the Board of Directors & CEO Alstom Transport S.A., Michael Peter, CEO Siemens Mobility GmbH und Javier Martínez Ojinaga, CEO CAF Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles S.A. Im Anschluss folgt der gemeinsame Eröffnungsrundgang. •



Verkehrsminister Dr. Volker Wissing begrüßt zur InnoTrans 2024 Foto: Messe Berlin

Schwerpunkt öffentlicher Nahverkehr

Die Segmente Public Transport & Interiors umfassen 55.000 m² Hallenfläche und das Bus Display mit dem Rundkurs für Testfahrten. Ergänzend finden bei der InnoTrans Convention statt: das International Bus Forum (DVF, „Fahrplan Zukunft ÖPNV: Strategie, Benchmark und Rollout“), das Public Transport Forum (ETC Solutions, „Finanzierung – Vernetzung – Personal: Unverzichtbar für den Öffentlichen Verkehr der Zukunft“) und das International Design Forum (IDZ, „Attraktive Reiseerlebnisse gestalten: Innovative Interiors für den ÖPNV von heute und morgen“). •

InnoTrans im Überblick

Fachmesse: 24.- 27. September 2024

Veranstalter und Veranstaltungsort: Messe Berlin GmbH, ExpoCenter City, Messedamm 22, 14055 Berlin

Öffnungszeiten: Fachmesse 9:00 – 18:00 Uhr

Preise: Tagesticket Online: 60,00 EUR
Tagesticket Freitag (9:00 – 16:00 Uhr): 50,00 EUR
Dauerticket Online: 90,00 EUR
Tagesticket Studierende: 14,00 EUR
Dauerticket Studierende: 30,00 EUR
(nur Online-Tickets, keine Tageskasse vor Ort)

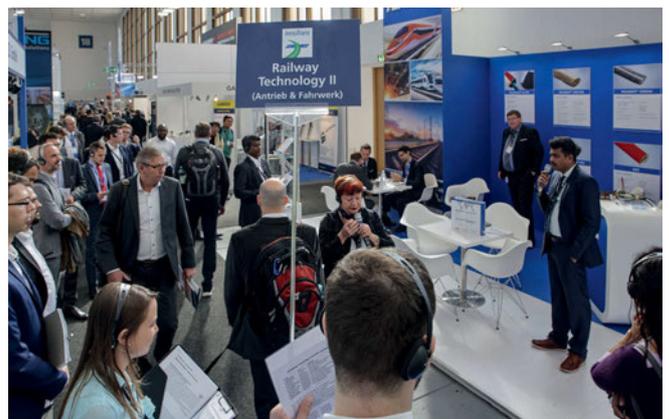
E-Mail: innotrans@messe-berlin.de · **Web:** www.innotrans.de



ist Medienpartner der InnoTrans 2024

World Innovation Tours: Weltpremierentdecken

Bahnbrechende Weltneuheiten erleben Fachbesuchende auf den geführten World Innovation Tours während der InnoTrans. Auf den Stationen der Rundgänge erhalten die Teilnehmenden Informationen zu den Weltpremierentdeckungen aus erster Hand von hochrangigen Mitarbeitenden der Unternehmen. Die Rundgänge dauern etwa 90 Minuten und finden mehrmals täglich auf Deutsch und Englisch statt. Anmeldungen sind per Mail und während der Messe täglich ab 9 Uhr am Counter in der Business Lounge im Marshall-Haus möglich. Mehr Infos und Online-Anmeldung auf www.innotrans.de. •



Zehn Innovationen auf einer Tour

Foto: Messe Berlin

© 2024 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.

Kurzberichte | Newsflash

Hamburg: Alstom liefert ab 2028 neue Fahrzeuge und CBTC

Alstom wird für die Hamburger Hochbahn AG erneut die neuen U-Bahn-Fahrzeuge liefern, darüber hinaus auch das CBTC-Betriebsführungssystem für den vollautomatisierten Betrieb (GoA 4) der neuen Linie U5. Der Vertrag wurde bereits Mitte Juni unterzeichnet, allerdings wurde dies im TED der EU ohne Nennung des Auftragnehmers mitgeteilt. Der Rahmenvertrag hat einen Wert von bis zu 2,8 Mrd. EUR. Am 10. Juli 2024 gab die Hamburger Hochbahn gemeinsam mit Alstom die Details des Auftrages bekannt: Bereits 2028 sollen die ersten neuen Fahrzeuge ausgeliefert werden, die Hochbahn hat jetzt als Erstabruf 41 DT6-F mit Führerstand für das Bestandsnetz und sieben DT6-A für die U5 bestellt. Die erste Tranche umfasst zudem die CBTC-Ausrüstung für den ersten U5-Abschnitt zwischen Bramfeld und City Nord / Borgweg. Dieser Abruf der ersten Fahrzeuge und des ersten CBTC-Teilstücks hat einen Wert von 670 Mio. EUR.

jsh

Hamburg: Alstom to supply new vehicles and CBTC from 2028

Alstom will once again supply the new underground vehicles for Hamburger Hochbahn AG, as well as the CBTC operations management system for the fully automated operation (GoA 4) of the new U5 line. The contract was already signed in mid-June, although this was announced in the EU's TED without naming the contractor. The framework agreement is worth up to EUR 2.8 billion.

Hamburger Hochbahn and Alstom announced the details of the contract on 10 July 2024: The first new vehicles are to be delivered as early as 2028; Hochbahn has now ordered 41 DT6-F with driver's cabs for the existing network and seven DT6-A for the U5 as an initial call-off. The first tranche also includes the CBTC equipment for the first U5 section between Bramfeld and City Nord / Borgweg. This call-off of the first vehicles and the first CBTC section is worth EUR 670 million.

jsh

100 Jahre Fachwissen zu Technik und Management moderner Bahnen





Bewerben Sie Ihre Dienstleistungen
oder Ihre Produkte in den Rubriken

- Fahrweg & Bahnbau
- Fahrzeuge & Komponenten
- Ausrüstung & Betrieb
- Projekte & Management
- Forschung & Entwicklung

Buchen Sie jetzt

➔ Ihren Firmeneintrag

➔ Ihr Businessprofil

➔ Ihre Anzeige



Ihr Ansprechpartner: Tim Feindt ▪ tim.feindt@dvvmedia.com ▪ Telefon +49 40 237 14 220



© 2024 DVV Media Group GmbH. Nur zum persönlichen Gebrauch, eine Weitergabe ist ohne Genehmigung des Verlags strengstens untersagt.



Mit mehr als 300 elektrischen Triebwagen und 100 Bussen erbringen wir, mit über 2.500 Mitarbeitenden an fünf Standorten gemeinsam Nahverkehrsleistungen in Karlsruhe und Umgebung. Hierbei stellen wir als Gründer und Erfinder des „Karlsruher Modells“ den reibungslosen operativen Betrieb unserer Eisenbahn- und Stadtbahnleistungen in unserem rund 600 km großen Schienennetz sicher.

Für die **Projektentwicklung in Karlsruhe** suchen wir Sie **in Vollzeit** als

Bauingenieur*in / Techniker*in (m/w/d) als Projektleiter*in Infrastrukturanlagen

Unser Angebot

- Ein sicherer Arbeitsplatz in einem modernen Verkehrsunternehmen
- Eine verantwortungsvolle, abwechslungsreiche Herausforderung in einem engagierten Team mit netten Kolleginnen und Kollegen
- Umfassende, systematische Einarbeitung und ein gutes Betriebsklima mit offener Kommunikation und wertschätzender Führungskultur
- Möglichkeiten zur fachlichen und persönlichen Weiterentwicklung
- Gute Vereinbarkeit von Familie und Beruf
- Bezahlung nach Tarifvertrag der nichtbundeseigenen Eisenbahnen (ETV) und Leistungs- und Treueprämie (ab dem 2. Beschäftigungsjahr)
- Eine attraktive betriebliche Altersvorsorge (ZVK)
- Sehr gute Erreichbarkeit mit öffentlichen Verkehrsmitteln; interessante Vergünstigungen bei der Nutzung unserer Verkehrsmittel

Ihre Verantwortung

- Sie sind zuständig für die Projektleitung bei Neu- und Umbaumaßnahmen von Straßen-/ Eisenbahnanlagen in unserem Streckennetz.
- Als Projektleiter*in steuern und koordinieren Sie die Maßnahmen von der Ausführungsplanung über die Ausschreibung, einschließlich der Realisierung bis zur Inbetriebnahme der Anlagen.
- Sie sind verantwortlich für das Zusammenspiel zwischen Bauherr, Fachplanungsbüros und örtlicher Bauüberwachung. Sie vertreten gegenüber Dritten die Interessen der AVG bei der Umsetzung von Baumaßnahmen und übernehmen die Bauoberleitung.
- Sie führen Abstimmungen u.a. mit Behörden und Ämtern herbei und koordinieren die einzelnen Fachgewerke (Bauherrenvertretung).
- Sie sorgen für projektbegleitende Abrechnung und Budgetkontrolle und führen Nachtragsverhandlungen durch.

Ihr Profil

- Sie besitzen ein abgeschlossenes Hochschulstudium des Bauingenieurwesens oder sind (Bau)-Techniker und haben mehrjährige Berufserfahrung als Projekt- oder Bauleiter im Bereich Infrastrukturanlagen.
- Großes Interesse in der Zukunftsbranche Straßen-/Eisenbahn und Freude beim Ausbau einer nachhaltigen Mobilität.
- Sie haben gute Kenntnisse im Vergabe-/Vertragsrecht (VOB, HOAI).
- Sie zeichnen sich durch hohe Motivation, Verantwortungsbewusstsein und Teamfähigkeit aus, arbeiten eigenverantwortlich, sind belastbar, haben Durchsetzungsvermögen und Kostenbewusstsein.
- Sie verfügen über sehr gute Kenntnisse der Office-Programme und sind im Besitz eines Kfz-Führerscheins (Klasse B). Kenntnisse in gängigen Ausschreibungs- und Kalkulationsprogrammen sind von Vorteil.
- Sehr gute Deutschkenntnisse in Wort und Schrift.

Finden Sie sich in diesem Anforderungsprofil wieder, freuen wir uns auf Ihre Bewerbung unter Ref.nr. 2024_86 an: bewerbung@avg.karlsruhe.de.

Weitere Infos über unser Unternehmen finden Sie auf www.avg.info. Für weitere Auskünfte steht Ihnen Herr Ziegler unter **0721 6107-6100** oder Herr Czerny unter **0721 6107-6102** gerne zur Verfügung.

Autonome Tramfahrt im Depot

Die Škoda Gruppe hat eine autonome, fahrerlose Straßenbahnfahrt in einem Depot im finnischen Tampere erfolgreich durchgeführt. Bei der Demonstration im Straßenbahndepot von Tampereen Ratikka bewegte sich die Straßenbahn vom Typ Škoda Smart Artic X34 automatisch durch das Depot, reagierte auf Hindernisse auf den Gleisen und durchfuhr die Waschstraße – alles gesteuert per Serveranwendung aus der Ferne. Nur ein Jahr nach Ankündigung der Projektentwicklung haben sowohl das ATO- als auch ACS-Antikollisionssystem ihre Funktionen unter Beweise gestellt. Die Systeme wurden speziell für Straßenbahnen von Škoda in der Tschechischen Republik mit Unterstützung der PPF-Gruppe entwickelt. **jsh**

Autonomous tram journey in a depot

The Škoda Group has successfully completed an autonomous, driverless tram journey in a depot in Tampere, Finland. During the demonstration at the Tampereen Ratikka tram depot, the Škoda Smart Artic X34 tram moved automatically through the depot, reacted to obstacles on the tracks and drove through the car wash - all controlled remotely by a server application. Just one year after the announcement of the project development, both the ATO and ACS anti-collision systems have proven their functionality. The systems were developed specifically for Škoda trams in the Czech Republic with the support of the PPF Group. **jsh**

Bis zu 449 ÖBB-Fahrzeuge bekommen ETCS-Fahrzeugausrüstung

Alstom hat mit den Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) einen Rahmenvertrag unterzeichnet, um bis zu 449 Fahrzeuge (Railjet-Triebzüge und Lokomotiven) mit ETCS-Onboard-Lösungen auszurüsten. Der erste Abruf umfasst 195 Züge, die in den ÖBB-Werkstätten Linz und Wien unter Alstom-Verantwortung die Umbauten für ETCS Baseline 3.6 erhalten sollen. Das Auftragsvolumen des Rahmenvertrags beläuft sich auf mehr als 100 Mio. EUR, das Projekt soll bis 2030 laufen. Mithilfe des Fahrzeugupgrades auf ETCS will die ÖBB langfristig zuverlässigen, grenzüberschreitenden Personen- und Güterverkehr in Europa sicherstellen, bei gleichzeitiger Kapazitätserhöhung und geringeren Wartungskosten. **jsh**

Up to 449 ÖBB vehicles to receive ETCS on-board equipment

Alstom has signed a framework agreement with the Austrian Federal Railways (ÖBB) to equip up to 449 vehicles (Railjet trainsets and locomotives) with ETCS onboard solutions. The first call-off comprises 195 trains, which are to be retrofitted for ETCS Baseline 3.6 in the ÖBB workshops in Linz and Vienna under Alstom's responsibility. The order volume of the framework agreement amounts to more than EUR 100 million and the project is scheduled to run until 2030. With the help of the vehicle upgrade to ETCS, ÖBB aims to ensure reliable, cross-border passenger and freight transport in Europe in the long term, while at the same time increasing capacity and reducing maintenance costs. **jsh**

DAK: E-Kupplung von Voith wird Grundlage für die Schnittstellenstandardisierung

Die Entscheidung ist bestätigt: Für die Digitale Automatische Kupplung (DAK) wird die von Voith entwickelte E-Kupplung die in FP5-TRANS4M-R einheitlich eingesetzte E-Kupplung. Diese Entscheidung des FP5-TRANS4M-R-Lenkungsausschusses von Ende Februar 2024 wurde vom European DAC Delivery Programme (EDDP)-Aufsichtsrat im Juli 2024 bestätigt. Im nächsten Schritt wird diese Technologie die Schnittstellenstandardisierung der E-Kupplung für den europäischen Schienengüterverkehr sein.

Die E-Kupplung stellt die Energieversorgung sowie die Datenübertragung in allen Waggons und Lokomotiven eines digitalen Güterzugs sicher. Die Lösung von Voith lässt sich einfach mit nur zwei Schrauben nachrüsten und ist wegen der geringen Anzahl an Bauteilen verschleißarm und einfach zu warten, um eine zuverlässige Strom- und Datenverbindung jederzeit zu gewährleisten.

Die E-Kupplung wird nach ihrem zeitversetzten Auslösen immer mit derselben Geschwindigkeit bewegt, was sowohl die E-Kupplung als auch die Kontakte bei Aufprallgeschwindigkeiten bis zu 12 km/h jederzeit gut schützt. Voiths CargoFlex, die automatische Frachtkupplung, ist mit einem Mechanismus versehen, der es ermöglicht, das automatische Vorfahren der E-Kupplung sowie das Öffnen der Klappen zu blockieren. Trotz mechanischem Verbinden der Kuppelverschlüsse bleibt die E-Kupplung jederzeit sicher in ihrer zurückgezogenen Stellung und die Klappe fest verschlossen. So ist auch die Interoperabilität mit Passagierkupplungen sowie das Rangieren über den Ablaufberg möglich.

Die Auswahl ist das Ergebnis eines Prozesses, der im Herbst 2023 mit der Definition von Auswahlkriterien durch eine Expertengruppe von Betreibern begann und von den Kupplungsherstellern genehmigt wurde. Während einer viermonatigen Testphase wurden die E-Kupplungen im FP5-TRANS4M-R, im DAC4EU-Zug und auf den Prüfständen der Hersteller getestet. Hierbei konnte die Lösung von Voith besonders bei der Kostenbewertung überzeugen.

Die jetzt getroffene Entscheidung für ein einheitliches E-Kupplung-Design ist ein Meilenstein auf dem Weg zur Interoperabilität der DAK in Europa. jsh

DAC: Voith's e-coupler becomes the basis for interface standardisation

The decision has been confirmed: For the Digital Automatic Coupler (DAC), the e-coupler developed by Voith will become the standardised e-coupler used in FP5-TRANS4M-R. This decision by the FP5-TRANS4M-R Steering Committee at the end of February 2024 was confirmed by the European DAC Delivery Programme (EDDP) Supervisory Board in July 2024. In the next step, this technology will be the interface standardisation of the e-coupling for European rail freight transport.

The e-coupler ensures the power supply and data transmission in all wagons and locomotives of a digital goods train. The Voith solution can be easily retrofitted with just two screws and is low-wear and easy to maintain due to the low number of components, ensuring a reliable power and data connection at all times.

The e-coupler is always moved at the same speed after its delayed release, which protects both the e-coupler and the contacts at impact speeds of up to 12 km/h at all times. Voith's CargoFlex, the automatic cargo coupler, is equipped with a mechanism that makes it possible to block the automatic advance of the e-coupler and the opening of the flaps. Despite the mechanical connection of the coupling locks, the e-coupling remains securely in its retracted position at all times and the flap remains firmly closed. This also enables interoperability with passenger couplings and manoeuvring over the hump.

The selection is the result of a process that began in autumn 2023 with the definition of selection criteria by an expert group of operators and was approved by the coupler manufacturers. During a four-month test phase, the e-couplers were tested in the FP5-TRANS4M-R, in the DAC4EU train and on the manufacturers' test benches. Voith's solution was particularly convincing in terms of cost assessment.

The decision in favour of a standardised e-coupler design is a milestone on the way to interoperability of the DAC in Europe. jsh

Rail Baltica als DAK-Green Field – Kommission bremst

Die Entwickler der Digitalen Automatischen Kupplung (DAK) erachten das Normalspurprojekt Rail Baltica (RB) offenbar als optimal, um ein DAK-Rolloutprojekt auf der „grünen Wiese“ zu etablieren. Nach Eurailpress-Informationen sollte in einem Schreiben aus Kreisen der DAK-Projektgruppe an die lettischen, litauischen und estnischen Verkehrsminister für einen Einbezug der DAK im weiteren RB-Projektverlauf geworben werden. Aus Kreisen der EU-Kommission verlautet indes der Wunsch nach Zurückhaltung: Aufgrund der bekannten Probleme bei der RB will man offenbar politischen Druck in Richtung DAK auf die baltischen Minister vermeiden. Das Thema solle auf technischer, nicht auf politischer Ebene vorgebracht werden. jgf

Rail Baltica as a DAC green field – Commission puts the brakes on

The developers of the Digital Automatic Coupling (DAC) apparently consider the standard-gauge Rail Baltica (RB) project to be the ideal place to establish a DAC rollout project on a “green field” According to Eurailpress information, a letter from DAC project group circles to the Latvian, Lithuanian and Estonian transport ministers was intended to promote the inclusion of DAC in the further course of the RB project. However, the EU Commission has expressed a desire for restraint: due to the known problems with the RB, they apparently want to avoid political pressure on the Baltic ministers in the direction of DAC. The issue should be raised at a technical, not a political level. jgf

Berlin: Erstmals CBTC-Technologie für teilautomatisierte U-Bahn

Die Ausschreibung der Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) ist entschieden: Siemens Mobility wird sein Communications-Based Train Control System (CBTC) auf den Linien U5 und U8 der Berliner U-Bahn einführen. Die Trainguard MT-CBTC-Lösung soll den teilautomatisierten Betrieb (GoA 2) auf der Linie U5 bis 2029 und auf der Linie U8 ab 2032 ermöglichen. Die Umrüstungen sollen unter laufendem Betrieb erfolgen und die Kapazität der beiden Linien um 30 % steigern, wodurch auch Zuverlässigkeit und Pünktlichkeit des Gesamtsystems deutlich verbessert werden soll. Zugfolgezeiten von weniger als 100 Sekunden sind mit dieser Technologie möglich. Das Auftragsvolumen beträgt rund 200 Mio. EUR, hinzu kommen langfristige Verträge zur Wartung der Technik.

Auf einer Gesamtstreckenlänge von 40 km werden die BVG-Linien U5 und U8 mit Trainguard MT ausgestattet, das sind alle 26 Stationen der Linie U5 und 24 der Linie U8. Das bisherige Signalsystem wird vollständig durch die CBTC-Technologie ersetzt, die es ermöglicht, dass Züge kontinuierlich mit der Strecke kommunizieren, in festgelegten Sicherheitsabständen automatisch fahren, Notbremsungen durchführen und selbstständig beschleunigen und bremsen. Der Triebfahrzeugführer konzentriert sich auf das Ein- und Aussteigen der Passagiere, überwacht die Strecke visuell und kann im Notfall eingreifen. Durch die Nutzung von Echtzeit-Daten zur Fahrzeugposition und -geschwindigkeit können mehr Züge in kürzeren Abständen auf der Strecke fahren. jsh

Berlin: CBTC technology for semi-automated underground railway for the first time

The Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) tender has been decided: Siemens Mobility will introduce its Communications-Based Train Control System (CBTC) on the U5 and U8 lines of the Berlin underground. The Trainguard MT-CBTC solution will enable partially automated operation (GoA 2) on the U5 line by 2029 and on the U8 line from 2032. The conversions are to take place during ongoing operations and increase the capacity of the two lines by 30 %, which should also significantly improve the reliability and punctuality of the overall system. Train headways of less than 100 seconds are possible with this technology. The order is worth around EUR 200 million and includes long-term contracts for the maintenance of the technology.

The BVG lines U5 and U8 will be equipped with Trainguard MT on a total route length of 40 kilometres, i.e. all 26 stations on line U5 and 24 on line U8. The previous signalling system will be completely replaced by CBTC technology, which enables trains to communicate continuously with the track, travel automatically at set safety distances, perform emergency braking and accelerate and brake independently. The driver concentrates on boarding and alighting passengers, monitors the route visually and can intervene in an emergency. By utilising real-time data on vehicle position and speed, more trains can run on the line at shorter intervals. jsh

MERMEC-Präsident wünscht sich Bekenntnis zu ERTMS von europäischer Politik

Anlässlich des G7-Handelsministertreffens im italienischen Reggio Calabria am 16. und 17. Juli 2024 äußerte sich Vito Pertosa, Präsident der MERMEC-Gruppe und der Angel Holding, auf der G7-Industriekonferenz, einer offiziellen Nebenveranstaltung, an EU-Kommissar Valdis Dombrovskis gewandt, zu ERTMS. „Das europäische Eisenbahnverkehrsleitsystem ERTMS“, so Pertosa, „das nicht mehr nur ein europäischer, sondern ein internationaler Standard ist, kämpft immer noch um seine weite Verbreitung, obwohl alle erhofften Ziele erreicht wurden: ökologische Nachhaltigkeit, weil es grün ist; soziale Nachhaltigkeit, weil es Menschen und Güter näher zusammenbringt und diejenigen, die technologisch im Rückstand sind, weniger kostet, da es weniger Aushubarbeiten braucht und eine schnellere Umsetzung möglich ist. Durch die Konzentration auf die Infrastruktur wird auch das BIP gesteigert.“ ERTMS erhöhe die Zugfrequenz bei absoluter Sicherheit auf derselben Strecke, steigere das technologische Niveau und vereinfache den Zugverkehr zwischen den Ländern erheblich. Am Ende seines Statements gab Vito Pertosa seiner Hoffnung Ausdruck, „dass die zentrale Bedeutung dieses Programms in der Antrittsrede des künftigen Präsidenten der Europäischen Kommission bekräftigt wird“.

In seiner Antwort erklärte EU-Kommissar Valdis Dombrovskis: „Eine interessante Bemerkung von Präsident Pertosa, die ich der Generaldirektion Mobilität und Verkehr (GD Move) zur Kenntnis bringen werde.“ jsh

MERMEC President wants commitment to ERTMS from European politicians

At the G7 Trade Ministers' Meeting in Reggio Calabria, Italy, on 16 and 17 July 2024, Vito Pertosa, President of the MERMEC Group and Angel Holding, addressed EU Commissioner Valdis Dombrovskis on ERTMS at the G7 Industry Conference, an official side event. "The European Rail Traffic Management System ERTMS," said Pertosa, "which is no longer just a European standard but an international one, is still struggling to be widely adopted, even though all the hoped-for goals have been achieved: environmental sustainability because it is green; social sustainability because it brings people and goods closer together and costs those who are technologically behind less because it requires less excavation work and can be implemented more quickly. The focus on infrastructure also increases GDP." ERTMS increases train frequency with absolute safety on the same route, raises the technological level and considerably simplifies train transport between countries. At the end of his statement, Vito Pertosa expressed his hope "that the central importance of this programme will be confirmed in the inaugural speech of the future President of the European Commission".

In response, EU Commissioner Valdis Dombrovskis said: "An interesting remark by President Pertosa, which I will bring to the attention of the Directorate-General for Mobility and Transport (DG Move)." jsh

Wir sind dort, wo Ihre Kunden sind.

Heft 9/24 **20. Internationale Schienenfahrzeugtagung**
18.09. – 20.09.24, Dresden

InnoTrans 2024
24.09. – 27.09.24, Berlin

Heft 11/24 **24. Internationaler SIGNAL+DRAHT-Kongress**
07.11. – 08.11.24, Fulda



Weitere Infos:

Silke Härtel
040/237 14-227

silke.haertel@dvvmedia.com

Änderungen vorbehalten

Impressum | Imprint



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 Haipf
gerhard.haipf.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 |
Postfach 101609 D-20010 Hamburg |
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: **Frank Schnakenbeck**
Tel.: +49 40 23714-332, frank.schnakenbeck@dvvmedia.com

Gültig ist die Anzeigenpreisliste Nr. 57 vom 1. Januar 2024.
The valid advertisements price list is no. 57 of 1 January 2024.

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 | Fax +49 40 23714-243
kundenservice@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 276,00 EUR inkl. Porto zzgl. MwSt.
Subscription Domestic EUR 276,00 for one year incl. P&P plus VAT.
Abonnement Ausland jährlich 316,00 EUR inkl. Porto
Abroad with a VAT number EUR 316,00 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 32,60 EUR inkl. MwSt. | Single issue 32,60 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 oHG, Lohfelden

INSERENTENVERZEICHNIS | DIRECTORY OF ADVERTISERS

Albtal-Verkehrs-Gesellschaft mbH, Karlsruhe	71
DB Engineering & Consulting GmbH, Berlin	11
DVV Media Group GmbH, Hamburg	U2, 14, 21, 43, 70, U3, U4
Funkwerk Systems GmbH, Kollada	27
Progress Rail Inspection & Information Systems GmbH, Mannheim	49
Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. KG, Berlin	35

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



+++ ETCS +++ ATO/CBTC +++ FRMCS +++ CBM/PDM +++ KI +++

RAILIMPACTS

Digitale Technologien im Bahnbetrieb

Digitalisierung des Schienenverkehrs Automatisierung, die bewegt

Rail Impacts – der digitale Informationsdienst zum Thema Digitalisierung des Schienenverkehrs – bietet Ihnen stets aktuell und verlässlich einen Überblick über den Stand der relevanten Themen im zunehmend dynamischen Schienenverkehrsmarkt:



Jetzt
4 Wochen
testen!

- **ETCS:** Das künftige Leit- und Signalsystem für den Schienenverkehr steht vor dem flächendeckenden Rollout in ganz Europa
- **ATO:** Automatisierung des Bahnbetriebs bis hin zum vollautomatischen und fahrerlosen Betrieb
- **CBTC:** Automatisierter Bahnbetrieb vor allem in Nahverkehrsnetzen
- **FRMCS:** Künftiger europäischer Standard für Funk- und Datenkommunikation im Schienenverkehr
- **Marktumfeld:** Politische und industrielle Rahmenbedingungen
- **Technologien:** Überblick über aktuelle Produkte und Services zur Digitalisierung des Schienenverkehrs sowie Aktivitäten in Forschung und Wissenschaft

**Eurail
press**



DVV Media Group

Jetzt 4 Wochen kostenlos testen:

www.eurailpress.de/rail-impacts-testab

Individuelle Sonderdrucke Schaffen Sie Aufmerksamkeit!

Für mehr Informationen besuchen Sie
www.eurailpress.de/sonderdrucke-individuell

Werben Sie
mit Ihrem
maßgeschneiderten
Sonderdruck!



Wir finden mit Ihnen die beste Ergänzung zu Ihrem Marketingmix,
sodass Sie Ihre Reichweite optimal ausnutzen können.

- ▼ Sowohl als Print-Sonderdrucke als auch in digitaler Form
- ▼ Individuelle Erweiterung durch zusätzliche Inhalte
- ▼ Profitieren Sie von der hohen Präsenz unserer Marken
- ▼ Zielgruppenspezifisches Werben durch einen nachhaltigen Kommunikationsverstärker
- ▼ Unterstützung Ihrer Kanäle durch hochwertige Fachbeiträge
- ▼ Für Online-Kongresse, Messen oder Symposien
- ▼ Kostengünstige und individuelle Content Marketing Inhalte

Ihre Vorteile:

Eurail
press

Archiv

Ohne Umwege zu Ihren Fachartikeln

Jetzt upgraden und Zugriff auf das **gesamte Eurailpress-Archiv + DER NAHVERKEHR** erhalten!

Abonnenten
erhalten bis zu
**50 %
Rabatt**

-  44.000 Beiträge
-  laufende Aktualisierung
-  individuelle Suchoptionen
-  Volltextsuche
-  Sofort-Download

EI
DER
EISENBAHN
INGENIEUR

ETR
EISENBAHN
TECHNISCHES
ZEITSCHRIFT

EIK
EISENBAHN
KONSTRUKTIVES
KOMPENDIUM

RAIL
KONSTRUKTIVES
KOMPENDIUM

Rail
BUSINESS

bahn
manager

GÜTERBAHNEN
WISSENSMAGAZIN FÜR
GÜTERTRANSPORT

DER NAHVERKEHR
WISSENSMAGAZIN FÜR
NAHVERKEHR

Eurail
press

www.eurailpress.de/upgrade-archiv-erp

Archiv