



SIGNAL+DRAHT

SIGNALLING & DATACOMMUNICATION



21 **Traffic Management System für das Digital Systems Program Sydney**
Traffic Management System for the Digital Systems Program in Sydney

48 **Integriertes Leit- und Bediensystem der DB InfraGO – Bediensystem mit Zukunft**
DB InfraGO integrated Control and Operating System – control system with a future

106 **5G-RACOM – Feldstudie zu hybriden FRMCS- Netzen für resilientes Bahnfunksystem**
5G-RACOM – field study on hybrid FRMCS networks for resilient rail communications

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.



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



Abwärtskompatibilität – nur eine Option?

Backward compatibility – only an option?

Während Sie dieses Heft in den Händen halten, öffnen sich in Berlin gerade die Tore zur weltgrößten Messe für Verkehrstechnik, der InnoTrans. In unserem Metier wird sich das Thema Vernetzung wie ein roter Faden über die Messestände ziehen. Diese Systeme kommunizieren untereinander, aber anders als bei der menschlichen Kommunikation, die auch bei Dialekten und Fremdsprachen noch funktioniert, sind sie auf eine vollständig kompatible Sprache angewiesen. Änderungen an der Sprache führen unweigerlich zur Inkompatibilität.

Will man dann Systeme mit neuer Sprache ins Feld bringen, müssen entweder die bestehenden auf die neue Sprache hochgerüstet oder Inseln für die verschiedenen Sprachen geschaffen werden. Ersteres erzeugt im Eisenbahnsystem einen kaum leistbaren Umbauaufwand mit mannigfaltigen Abhängigkeiten. Letzteres treibt den Aufwand für dann parallel zu betreibende und zu pflegende Versionen in die Höhe und schränkt die Erweiterbarkeit ein. Selbstverständlich braucht es eine Entwicklung, um Systeme an sich fortlaufend verändernde Anforderungen anzupassen. Wenn wir die Sprache aber nicht ändern, sondern erweitern, kann ein fortentwickeltes System seine „Vorfahren“ noch verstehen, es ist abwärtskompatibel. Im Projektalltag sind somit die Systeme mit dem neuesten Entwicklungsstand, ohne zwingende Auswirkungen auf den Anlagenbestand, verwendbar. Auch die Entwicklung vereinfacht sich, baut sie doch auf der Vorgängerversion auf und bedarf nur einer Version. Abwärtskompatibilität ist also keine Option, sondern ein MUSS, damit die Leit- und Sicherungstechnik in Zukunft für uns beherrschbar bleibt und wir nicht an technischer Vielfalt und organisatorischem Aufwand ersticken.

As you are holding this edition in your hands, the gates to the world's largest trade fair for transport technology, InnoTrans, are opening in Berlin. The topic of networking will constitute a common thread across the exhibition stands pertaining to our field. Our systems communicate with each other, but unlike human communication, which still works despite various dialects and foreign languages, these systems rely on completely compatible languages. Linguistic changes inevitably lead to incompatibility.

If you then want to introduce systems with a new language into the field, you either have to upgrade the existing ones to the new language or you have to create islands for the different languages. The former generates barely affordable conversion costs within the railway system with a variety of dependencies. The latter increases the costs for the versions that then have to be operated and maintained in parallel and leads to limited scalability. Of course, development is needed to adapt the systems to the constantly changing requirements. However, if we do not change the language but expand it, a further developed system will still be able to understand its “ancestors” and will thus be backwards compatible. This will ensure that the latest development status can be used in everyday project life without necessarily having an impact on the entire existing system. Development is also simplified, as it builds on the previous version and only one version is then required.

Therefore, backward compatibility is not merely an option but a MUST in order to maintain control of the control and safety technology in the future and to avoid suffocating under technical diversity and organisational costs.

Steffen Henning, Managing Director Signalling Systems, Scheidt & Bachmann System Technik GmbH
Steffen Henning, Managing Director Signalling Systems, Scheidt & Bachmann System Technik GmbH



Liebe Leserinnen und Leser,
vom 24.–27. September 2024 öffnet die InnoTrans 2024 ihre Pforten in Berlin. Aufgeteilt in die fünf Messesegmente Railway Technology, Railway Infrastructure, Public Transport, Interiors und Tunnel Construction belegt die InnoTrans alle 41 Hallen des Berliner Messegeländes auf über 200.000 m² Fläche. Eurailpress (Hamburg) mit seiner über 125-jährigen Medientradition ist auf der InnoTrans vertreten und freut sich auf Ihren Besuch in Halle 4.2.

In unserer InnoTrans-Ausgabe berichten wir über den Einsatz moderner Wayside Object Controller (WOC) mit standardisierten EULYNX-Schnittstellen, über ETCS L2 Hybrid Train Detection (ETCS HTD) sowie ETCS L1LS und die Interoperabilität des europäischen Eisenbahnnetzes. Ein Artikel beleuchtet das Projekt 5G-RACOM, das die effiziente, zuverlässige und nachhaltige Nutzung von FRMCS und seines Frequenzspektrums untersucht. Ein weiterer Artikel beschreibt das seit einem Jahr in Betrieb befindliche integrierte Leit- und Bediensystem (iLBS) der DB InfraGO AG. Seit September 2023 sind Systeme von vier Herstellern im iLBS integriert, die in neuer Architektur mit neuer Schnittstelle an verschiedenen Standorten erfolgreich miteinander interagieren. Anlass, um das neue Bediensystem nochmals kurz vorzustellen, den Weg und Perspektiven aufzuzeigen und eine Bilanz zu ziehen.

Wir wünschen Ihnen viele neue und bleibende Erkenntnisse beim Lesen dieser Ausgabe von SIGNAL+DRAHT.

Dear readers,
the InnoTrans 2024 will open its doors in Berlin from 24 to 27 September 2024. Divided into five trade fair segments of Railway Technology, Railway Infrastructure, Public Transport, Interiors and Tunnel Construction, InnoTrans occupies all 41 halls of the Berlin exhibition site with an area of more than 200,000 m². Eurailpress (Hamburg) has a media tradition in excess of 125 years and as such it will be represented at InnoTrans, where it is looking forward to receiving visits in Hall 4.2. Our InnoTrans edition reports on the implementation of modern Wayside Object Controllers (WOC) with standardised EULYNX interfaces, ETCS L2 Hybrid Train Detection (ETCS HTD) and ETCS L1LS and the interoperability of the European rail network. One article casts light on the 5G-RACOM project that is looking for the efficient, reliable and sustainable use of FRMCS and its frequency range. A further article describes the integrated control and operation system (iLBS) that DB InfraGO AG has been operating for a year. The systems from four manufacturers have been integrated into the iLBS since September 2023 and have successfully interacted together in new architecture with a new interface in a variety of locations. This constitutes grounds to briefly introduce the operating system again, to point out the path and the prospects and to take stock.

Dear readers, we wish you many new and lasting insights when reading this edition of SIGNAL+DRAHT.

August Zierl

Reinhold Hundt

Chefredakteure | Advising Chief Editors



03 Steffen Henning

Auf ein Wort: Abwärtskompatibilität – nur eine Option?
Statement: Backward compatibility – only an option?

06

InnoTrans: Messevorschau
InnoTrans: Exhibition Preview

11 Karol Gruszka | Łukasz Sitarek | Dobromir Jasiński | Jakub Salamon

ETCS L1LS und die Interoperabilität des europäischen Eisenbahnnetzes
ETCS L1LS and the interoperability of the European rail network

21 Christian Glättli

Traffic Management System für das Digital Systems Program Sydney
Traffic Management System for the Digital Systems Program in Sydney

Internationaler Fachbeirat

Klaus Althage, Signon Deutschland GmbH, Berlin | Bernhard Appel, Hitachi Rail GTS Austria GmbH, Wien | Tilo Brandis, Pintsch GmbH, Dinslaken | René Berger, Voestalpine Signaling Austria GmbH, Wien | Dr.-Ing. Thorsten Büker, VIA Consulting & Development GmbH, Aachen | Mahir Celik, safeTrail GmbH, Saarbrücken | Alessandro de Grazia, Hitachi Rail STS Deutschland GmbH, München | Radek Dobiáš, SŽ, Prag | Valentin Doytchev, Bulgarische Staatsbahnen, NRIC, Sofia | André Feltz, SN CFL, Luxemburg | Andreas Freese, 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 | Erich Grünberger, Rail Expert Consult GmbH, Wien | Aki Härkönen, Finnish Transport Infrastructure Agency, Helsinki | Ronald Helder, ProRail, Utrecht | Steffen Henning, Scheidt & Bachmann System Technik GmbH, Kiel | Andreas Hinterschweiger, Westermo Data Communications GmbH, Waghäusel | Dr. István Hrivnák, Tran-SYS Ltd., Budapest | Dirk Isola, ipw Ingenieurgesellschaft, Braunschweig | Steffen Jurtz, Nextrail GmbH, Berlin | Johannes Köbler, Bayerische Kabelwerke AG, Roth | Branko Korbar, Kroatische Eisenbahnen (HŽ), Zagreb | Dr.-Ing. Rolf-Dieter Krächter, VDB Service GmbH, Berlin | 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 Liebinger, 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, Petersburger

29 Gregor Theeg | Craig McLellan | Heiko Saalbach | Frank Wend | Martin Hetzer | Lorenz Giese | Martin Haase
Hin zu einem innovativen Eisenbahnbetrieb mit ETCS Hybrid Train Detection
 Heading forwards to innovative railway operations with ETCS Hybrid Train Detection

41 Omair Javed
Ein Ansatz für das Verkehrsmanagement und die Stellwerkssimulation für Schienenverkehr und U-Bahn
 An approach to traffic management and interlocking simulation in railway and underground railway operations

48 Anke Wiedenroth
Integriertes Leit- und Bediensystem der DB InfraGO – Bediensystem mit Zukunft
 DB InfraGO integrated Control and Operating System – control system with a future

58 Daniele Capriotti | Christian Robl | Darius Burschka
Visuelle Detektion beliebiger Hindernisse im Gleisbett mit skalierbarer Empfindlichkeit für ATO
 The visual detection of obstacles in the track bed with scalable sensitivity for ATO

67 Daniel Schwencke
Eine vielseitige Testkomponente auf Grundlage des EULYNX-Teilsystems Weiche
 A versatile test component based on the EULYNX subsystem point

79 Florian Einböck | Ulrich Jansko
So steigern Wayside Object Controller die Effizienz in der Signaltechnik
 How Wayside Object Controllers increase efficiency in signalling technology

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 | **Mariàn 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, Köllda | **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**, Hitachi Rail GTS 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

88 Martin Koop | Leon Hagemann | Alain Kaffo
Hinterfrage deine Annahmen: Praxiserfahrungen mit Testautomatisierung und Pentests
 Question your assumptions: Practical experience with test automation and pentests

95 Joel Mwaka | Reza Sharavi
Deep Reinforcement Learning für Optimierung des Zugbetriebs
 Deep Reinforcement Learning for Optimisation of Train Operation

102 Dirk Schattschneider
Antennentechnologie – Lösung für Dual-Mode-Funktionalität GSM-R/FRMCS
 Antenna technology – a solution for dual-mode GSM-R/FRMCS functionality

106 Tomas Karabinos | Bernd Holfeld | Richard Fritzsche | Nico Alte | Manfred Taferner | Shaik Muhammed Zubair Basha | Klaus Moessner | Nour Chkeri
5G-RACOM – Feldstudie zu hybriden FRMCS-Netzen für ein resilientes Bahnfunksystem
 5G-RACOM – field study on hybrid FRMCS networks for resilient rail communications

114 Impressum | Imprint



Titelbild / Cover

Das Sydney Trains-Netz wird aufwendig modernisiert, wie z. B. hier auf der T4-Linie.
 The Sydney Trains network is being extensively modernised, such as here on the T4 line.

Quelle / source: Wikimedia Commons / Thebusofdoom



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.

InnoTrans 2024

Vom 24. September bis zum 27. September 2024 trifft sich die Bahnwelt auf der 14. InnoTrans. Über 2900 Aussteller aus 59 Ländern präsentieren in 42 Messehallen und auf rund 3500 m Gleislänge ihre Produkte, darunter sind auch 220 Weltpremierer. Fachbesucher erwartet auf der internationalen Leitmesse für Verkehrstechnik auf dem Berliner Messegelände eine schier unendliche Vielfalt an Produkten und Lösungen aus der Bahnindustrie. Eurailpress und SD wünschen Ihnen einen erfolgreichen Messebesuch!

From 24 September to 27 September 2024, the railway world will meet at the 14th InnoTrans. Over 2900 exhibitors from 59 countries will present their products in 42 exhibition halls and on around 3500 metres of track, including 220 world premieres. Trade visitors can expect an almost endless variety of products and solutions from the railway industry at the leading international trade fair for transport technology at the Berlin Exhibition Centre. Eurailpress and SD wish you a successful visit to the trade fair!

ITK Engineering : Neuer Onboard-Sensor zur Zuglokalisierung

Die Zukunft der Bahntechnik beginnt jetzt. Mit dem Magnetic Railway Onboard Sensor (Maros) entwickelt die ITK Engineering GmbH eine sichere und vollständig zuggebundene Lokalisierungslösung für den Schienenverkehr. Der Maros ist ein innovativer Onboard-Sensor, der es ermöglicht, auf Infrastrukturelemente wie Balisen oder Kameras zu verzichten. Dies macht ihn besonders kosteneffizient in Installation und Betrieb. Unabhängig von Wetterbedingungen oder GNSS-Signalen ist der Maros auf allen Stahlgleisen einsetzbar und bietet die notwendige Sicherheit und Zuverlässigkeit für Zugsteuerungssysteme wie ETCS Level 3, Automatic Train Operation (ATO) und Communication-Based Train Control (CBTC). Der Maros ist ein wesentlicher Baustein im Projekt „Automated Train“ in Verbindung mit Technologien zur Umfelderkennung. Im Rahmen dieses Forschungsprojekts der Digitalen Schiene Deutschland arbeitet ITK Engineering mit Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft an vollautomatisierten Bereitstellungs- und Abstellungsfahrten von Zügen. Der Bund fördert das Projekt mit 42,6 Mio. EUR bis 2026.



Magnetic Railway Onboard Sensor (Maros)
Magnetic Railway Onboard Sensor (Maros)

Quelle/Source: ITK

ITK Engineering: New onboard sensor for train localisation

The future of railway technology begins now. With the Magnetic Railway Onboard Sensor (Maros), ITK Engineering GmbH is developing a safe and fully train-linked localisation solution for rail transport. The Maros is an innovative onboard sensor that makes it possible to dispense with infrastructure elements such as balises or cameras. This makes it particularly cost-efficient to install and operate. Regardless of weather conditions or GNSS signals, the Maros can be used on all steel tracks and offers the necessary safety and reliability for train control systems such as ETCS Level 3, Automatic Train Operation (ATO) and Communication-Based Train Control (CBTC). The Maros is a key component in the 'Automated Train' project in conjunction with technologies for environment recognition. As part of this Digital Rail Germany research project, ITK Engineering is working with partners from industry and science on fully automated stabling and parking journeys for trains. The federal government is funding the project with EUR 42.6 million until 2026.

The Maros is a key component in the 'Automated Train' project in conjunction with technologies for environment recognition. As part of this Digital Rail Germany research project, ITK Engineering is working with partners from industry and science on fully automated stabling and parking journeys for trains. The federal government is funding the project with EUR 42.6 million until 2026.

Halle 20/Stand 320
www.itk-engineering.de

Hall 20/booth 320
www.itk-engineering.de

Net Check: Autonome Messsysteme für bessere Internetkonnektivität

Die Mobilfunkqualität während Zugfahrten wird sowohl für den Kundenkomfort als auch für interne Betriebsabläufe immer relevanter. Doch zur Datenerfassung war bisher ein hoher Personalaufwand notwendig: Für jeden Datensatz mussten Messtechniker jede einzelne Strecke abfahren. Jetzt bietet der ACT-Scan von Net Check einen neuen Weg: Als autonomes Messgerät scannt er kontinuierlich und automatisch die Umgebung nach relevanten Frequenzen ab. So liefert das Sys-

Net Check: Autonomous measuring systems for better internet connectivity

Mobile network quality during train journeys is becoming increasingly relevant both for customer comfort and for internal operational processes. However, data collection used to require a lot of manpower: For each data set, measurement technicians had to travel along each individual route. Now the ACT-Scan from Net Check offers a new approach: as an autonomous measuring device, it continuously and automatically scans the surrounding area for relevant frequen-

tem eine umfassende Datengrundlage zur gezielten Verbesserung der Konnektivität in Zügen und um die Zug-Land-Kommunikation zu verbessern, Wechselwirkungen von Mobilfunk und Betriebsfunk aufzudecken sowie betriebsrelevante Kommunikation sicherzustellen. Zudem ermöglicht es die Überprüfung der Erfüllung bestehender SLA und trägt zur Erprobung neuer Technologien bei. Der ACT-Scan kann mobil und stationär eingesetzt und aus der Ferne gesteuert werden. Er ist unter anderem nach CE, DIN EN 45545-2, DIN EN 50155 und DIN EN 50121 zertifiziert.

Halle 4.1b/Stand 345
www.nc-group.net

cies. In this way, the system provides a comprehensive data basis for the targeted improvement of connectivity in trains and for improving train-to-ground communication, detecting interactions between mobile radio and company radio and ensuring operationally relevant communication. It also enables the fulfilment of existing SLAs to be checked and contributes to the testing of new technologies. The ACT-Scan can be used in mobile and stationary applications and can be controlled remotely. It is certified in accordance with CE, DIN EN 45545-2, DIN EN 50155 and DIN EN 50121, among others. .

Hall 4.1b/booth 345
www.nc-group.net

NewTec: Sichere Remote-Anwendungen

Auf der InnoTrans präsentiert die NewTec GmbH Vernetzungslösungen für Remote-Anwendungen und sichere Update-Rollouts auf Basis von NTSecureCloudSolutions – NewTecs Hard- und Software-Framework für sichere Vernetzung. Mithilfe der NTSecureGateways mit kryptografischer Hardware-Engine können auch sicherheitsrelevante Inhalte (Steuerbefehle, Parametrisierungen etc.) auf Lokkomponenten übertragen und umgekehrt Sensordaten zentral über die Cloud ausgewertet werden. Durch Letzteres wird nicht nur eine zustandsbasierte Instandhaltung von Loks möglich, sondern auch eine gezielte Behebung kleinerer Funktionsprobleme via Remote-Zugriff. Perspektivisch sind damit auch autonomes Fahren oder eine Vernetzung von digitalen Zwillingen möglich, so NewTec. Im Bereich Zugkommunikation gibt es Neues: Im Rahmen von Safe4Rail / Connecta 3 hat der TRDP-Mitgestalter NewTec einen Security-Layer für TRDP entwickelt, mit dem auch innerhalb von Zügen eine sichere Kommunikation vernetzter Steuergeräte und Komponenten möglich ist.

Halle 6.1/Stand 410
www.newtec.de



NTSecure Gateway 1000_V2
NTSecure Gateway 1000_V2

Quelle/Source: NewTec

NewTec: Secure remote applications

At InnoTrans, NewTec GmbH will be presenting networking solutions for remote applications and secure update rollouts based on NTSecureCloudSolutions - NewTec's hardware and software framework for secure networking. NTSecureGateways with a cryptographic hardware engine can also be used to transfer security-relevant content (control commands, parameterisations, etc.) to locomotive components and, conversely, to evaluate sensor data centrally via the cloud. The latter not only enables condition-based maintenance of locomotives, but also the targeted rectification of minor functional problems via remote access. In the future, this will also enable autonomous driving or the networking of digital twins, according to NewTec. There is something new in the area of train communication: as part of Safe4Rail / Connecta 3, TRDP co-designer NewTec has developed a security layer for TRDP that also enables secure communication between networked control units and components within trains.

Hall 6.1/booth 410
www.newtec.de

Wir revolutionieren das interdisziplinäre BIM für die Bahn

“RailCOMPLETE, ein Werkzeug, das sich den Disziplinen anpasst und nicht umgekehrt!”

SNCF Réseau, Frankreich

“RailCOMPLETE ist vielseitig und ermöglicht es mir, bei Bedarf eigene Attribute hinzuzufügen”

Rail Expert Consult, Österreich

“RailCOMPLETE ist einfach und unglaublich fortschrittlich zugleich”

Multiconsult, Norwegen



RailCOMPLETE®

railcomplete.com



Nextrail: Die Schiene digitalisieren

Bahn digitalisieren, Transformation begleiten, Fortschritt ermöglichen: Nextrail ist Spezialist für die Einführung neuer Technologien in die Schienennetze und Fahrzeuge von morgen. Als Bindeglied zwischen Industrie und Bahnbetreibern unterstützen wir beratend die Durchführung von nationalen und internationalen Zukunftsprojekten. Interdisziplinär aufgestellt, bietet das Unternehmen das Prozess- und Systemwissen für eine ganzheitliche Betreuung von der technischen Expertise bis zur persönlichen Beratung. Wir arbeiten mit dem Ziel, die Digitalisierung des Bahnsystems zu optimieren. Mit unserem Fokus auf effiziente Prozesse und praxisnahe Lösungen helfen wir, neue Technologien zu implementieren. Wir navigieren Sie durch das Spannungsfeld zwischen komplexen Systemen und begleiten Sie von der Projektidee bis zur Realisierung. Die Leistungen von Nextrail reichen von der Konzeption über System Engineering, Data Management und Fahrzeugintegration bis Safety Management (inkl. Begutachtung) sowie Begleitung von Realisierungsprojekten.

CityCube Halle A/Stand 240
www.nextrail.com

Nextrail: Digitising the rail

Digitising rail, supporting transformation, enabling progress: Nextrail specialises in the introduction of new technologies into the rail networks and vehicles of tomorrow. As a link between industry and railway operators, we support the implementation of national and international future projects in an advisory capacity. With its interdisciplinary approach, the company offers the process and system knowledge for holistic support ranging from technical expertise to personal advice. We work with the aim of optimising the digitalisation of the rail system. With our focus on efficient processes and practical solutions, we help to implement new technologies. We navigate you through the field of tension between complex systems and accompany you from the project idea to realisation. Nextrail's services range from conception, system engineering, data management and vehicle integration to safety management (including assessment) and support for realisation projects.

CityCube Hall A/booth240
www.nextrail.com

Pilz: Neues Bahnsteuerungssystem PSSrail

Das Automatisierungsunternehmen Pilz zeigt in Berlin innovative Steuerungslösungen für die digitale Schiene. Highlight ist das neue sichere und modulare Bahnsteuerungssystem PSSrail, das Pilz erstmals vorstellt. Systemanbietern und Integratoren steht jetzt eine Plattform bereit, um ihre Digitalisierungsprojekte schnell und maßgeschneidert umzusetzen. Das Steuerungssystem PSSrail erlaubt als Object Controller den digitalen Fernzugriff auf Stellwerke, die Steuerung und Überwachung von Bahnübergängen oder von elektrisch ortsgesteuerten Weichen. Das Steuerungssystem ist kompatibel mit dem neuesten EULYNX-Standard. Stellvertretend für die vielfältigen Einsatzgebiete des neuen Bahnsteuerungssystems zeigt Pilz auf der Innotrans die Anwendung als Object Controller: Die Steuerung von Pilz übersetzt die digitalen Steuerbefehle aus den Stellwerken in Signale für gleisseitige Komponenten. Pilz zeigt auf dem Messestand das Zusammenspiel von Steuerungstechnik mit Signaltechnik des Pilz-Partners Pintsch. Das neue Bahnsteuerungssystem PSSrail besteht neben der Hardware auch aus einem Software-Suite zur Programmierung oder Konfiguration von Anwenderprogrammen. In einer Programm-bibliothek sind bahnertifizierte Funktionsblöcke hinterlegt und ermöglichen eine einfache und schnellere Implementierung. Auf dem Messestand können an einer Software-Demo die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Konfiguration individueller Lösungen getestet werden.

Halle 27/Stand 550
www.pilz.com

Pilz: New railway control system PSSrail

The automation company Pilz is presenting innovative control solutions for the digital railway in Berlin. The highlight is the new safe and modular railway control system PSSrail, which Pilz is presenting for the first time. System providers and integrators now have a platform at their disposal to implement their digitalisation projects quickly and in a customised way. As an object controller, the PSSrail control system enables digital remote access to signal boxes, the control and monitoring of level crossings or electrically position-controlled points. The control system is compatible with the latest EULYNX standard. At Innotrans, Pilz will be demonstrating the application as an object controller, which is representative of the wide range of applications for the new railway control system: the Pilz controller translates the digital control commands from the signal boxes into signals for track-side components. Pilz will be demonstrating the interaction of control technology with signalling technology from Pilz partner Pintsch on the stand. In addition to the

hardware, the new PSSrail railway control system also consists of a software suite for programming or configuring user programmes. Railway-certified function blocks are stored in a programme library and enable simple and faster implementation. The various options for configuring customised solutions can be tested on a software demo at the trade fair stand.



Bahnsteuerungssystem PSSrail
 Railway control system PSSrail

Quelle/Source: Pilz

Halle 27/Stand 550
www.pilz.com

Stadler Signalling: Innovationen für die Leit- und Sicherungstechnik

Als Teil der Stadler Rail Group ist der Geschäftsbereich Signalling auf modernste Leit- und Sicherungstechnik spezialisiert und setzt neue Standards in der Branche. An der InnoTrans 2024 präsentiert Stadler eine Reihe von Technologien, die die Effizienz, Sicherheit und Nachhaltigkeit des Schienenverkehrs deutlich verbessern.

Das Stadler NOVA Pro-CBTC-System ist eine hochwertige, schlanke und modulare CBTC-Lösung, die sich ideal für die Migration in eine bestehende Infrastruktur eignet. Es ist mit jedem drahtlosen Kommunikationsnetz kompatibel. Dank der vollständigen Redundanz mit sehr hoher Systemverfügbarkeit ist NOVA Pro ein sehr gutes Beispiel dafür, wie sich Stadler vom Fahrzeughersteller zum Anbieter von integrierten Mobilitätslösungen entwickelt hat.

GUARDIA ETCS bietet eine umfassende Lösung für die Eisenbahnsicherheit. Dieses fortschrittliche System erfüllt die höchsten internationalen Standards und ermöglicht eine präzise Zugsteuerung und -überwachung. GUARDIA wurde entwickelt, um die Sicherheit im Schienenverkehr zu maximieren und gleichzeitig die Effizienz zu steigern. Es optimiert die Zugreihenfolge, erhöht die Kapazität der Schienennetze und verbessert die Pünktlichkeit, indem es eine genaue und zuverlässige Steuerung der Züge ermöglicht. Das System lässt sich flexibel in bestehende Bahninfrastrukturen integrieren und passt sich an unterschiedliche Zugtypen und Streckenführungen an. Mit kontinuierlicher Daten-

Stadler Signalling: Innovations for control and safety technology

As part of the Stadler Rail Group, the Signalling division specialises in state-of-the-art control and safety technology and is setting new standards in the industry. At InnoTrans 2024, Stadler will be presenting a range of technologies designed to significantly improve the efficiency, safety and sustainability of rail transportation.

Stadler NOVA Pro-CBTC system is a high-quality, lean and modular CBTC solution that is ideally suited to be migrated into an existing infrastructure. It is compatible with any wireless communication network. Thanks to its complete redundancy with very high system availability, NOVA Pro is a very good example of how Stadler has evolved from a vehicle manufacturer to a provider of integrated mobility solutions.

GUARDIA ETCS offers a comprehensive solution for railway safety. This advanced system fulfils the highest international standards and enables precise train control and monitoring. GUARDIA is designed to maximise rail safety while increasing efficiency. It optimises train sequencing, increases the capacity of rail networks and improves punctuality by enabling accurate and reliable control of trains. The system offers flexible integration into existing rail infrastructures and adapts to different train types and route layouts. With continuous data acquisition

InnoTrans 2024 | 24.09. – 27.09.2024
Hall 27, Stand 760



Sitzplatz-Reservierungssystem. *Innovativ, flexibel und effizient.*

- Frühzeitige Erkennung von Reservierungen dank LED-Indikatoren
- Gesteigerte Passagierfluss-Effizienz
- Energie-, kosteneffiziente und kontrastreiche Display-Technologie
- Eine Displaylösung für flexible Einbausituationen
- Nahtlose Integration mittels vielseitigen kundenspezifischen Anpassungsmöglichkeiten

eao 

www.eao.com

Your Expert Partner for Human Machine Interfaces

PSItraffic Train Management Modellierung, Zuglenkung, Simulation – alles aus einer Hand



www.psi.de



Wir sind für Sie da!
Stand 515 | Halle 2.1

PSI 

Next-Gen Software for Mobility

erfassung und Echtzeitüberwachung ermöglicht GUARDIA eine sichere Zugsteuerung mit präziser Positionierung und Geschwindigkeitskontrolle.

Das Stadler NOVA Smartsense – ein Kollisionswarnsystem – ist ein fortschrittliches Fahrerassistenzsystem auf der Basis von VDV-191, das durch eine hochwertige Objekterkennung für mehr Fahrsicherheit im Bahnbetrieb sorgt. Dieses innovative Fahrerassistenzsystem basiert auf einer fortschrittlichen KI-basierten Objekterkennungstechnologie, die die Fahrsicherheit erhöht und Kollisionen verhindert. Die Präzision der Objekterkennung, die mit bis zu drei verschiedenen Sensoren (Radar, Kamera und Lidar) erfolgt, sorgt für eine zuverlässige Warnstrategie (3 Warnstufen mit unterschiedlichen Reaktionen) vor möglichen Hindernissen auf den Schienen. Diese Technologie stellt sicher, dass die Lokführer schnell reagieren können und minimiert somit mögliche Risiken.

Hall 2.2/booth 220
www.stadlerrail.com

and real-time monitoring, GUARDIA enables safe train control with precise positioning and speed control.

Stadler NOVA Smartsense – a Collision warning system – is an advanced driver assistance system based on VDV-191, which ensures increased driving safety in railroad operations thanks to high-quality object detection. This innovative driver assistance system is based on advanced AI-based object detection technology, which increases driving safety and prevents collisions. The precision of the object detection, which is carried out with up to three different sensors (radar, camera and lidar), ensures a reliable warning strategy (3 warning levels with different reactions) of potential obstacles on the rails. This technology ensures that train drivers react quickly and thus minimises potential risks.

Hall 2.2/booth 220
www.stadlerrail.com

Zelisko: Neue Signalgeneration „Compact“

Kurz vor der InnoTrans ist bei der Knorr-Bremse Marke Zelisko die neue Generation von LED-Streckensignalen mit deutlich verschlanktem Design auf den Markt gekommen: Hatte das Vorgängermodell in der Tiefe noch 356 mm gemessen, sind es bei der neuen „Compact“-Generation nurmehr 205 mm. Der Hebel liegt in einem grundsätzlich neuen Aufbau der Elektronik: Da drei früher separate Platinen nun auf einer einzigen kompakten Steuerplatine untergebracht sind, fällt der Hauptgrund für die bisherige Tiefe weg. Trotzdem bleiben Funktionsweise und elektrische Schnittstellen zum Stellwerk gleich. Die neue und erstmals IP65-zertifizierte Generation lässt sich folglich flexibel im Mix mit der Vorgängergeneration betreiben – sowie seitens der Steuereinheit auch an den meisten in Europa gängigen Stellwerkschnittstellen. Der Frontring ist austausch- und damit anpassbar an unterschiedliche Befestigungsarten.

Halle 25/Stand 120
www.zelisko.com

Zelisko: New ‘Compact’ signalling generation

Shortly before InnoTrans, Knorr-Bremse’s Zelisko brand launched the new generation of LED trackside signals with a significantly slimmed-down design: Whereas the previous model measured 356 mm in depth, the new ‘Compact’ generation is now only 205 mm. The leverage lies in a fundamentally new design of the electronics: as three previously separate circuit boards are now housed on a single compact control board, the main reason for the previous depth no longer applies. Nevertheless, the functionality and electrical interfaces to the interlocking remain the same. The new generation, which is IP65-certified for the first time, can therefore be operated flexibly in combination with the previous generation - and the control unit can also be used with most common interlocking interfaces in Europe. The front ring is interchangeable and can therefore be adapted to different types of mounting.

Hall 25/booth 120
www.zelisko.com





EVERYTHING YOU WANTED TO KNOW ABOUT RAILWAY SIGNALLING AND TELECOMMUNICATIONS, BUT DID NOT KNOW WHERE TO FIND...



Find out more on

www.newinsignal.com



ETCS L1 LS und die Interoperabilität des europäischen Eisenbahnnetzes

ETCS L1 LS and the interoperability of the European rail network

Karol Gruszka | Łukasz Sitarek | Dobromir Jasiński | Jakub Salamon

Die Einführung des ETCS-Systems (European Train Control System) in Europa läuft bereits seit über 20 Jahren, jedoch langsamer als ursprünglich geplant. Bis Ende 2023 ist das System auf über 7000 km Eisenbahnstrecken in Betrieb [1, 2], was nur etwa 3 % des gesamten europäischen Schienennetzes ausmacht [3]. Diese langsame Einführung ist mit hohen Kosten und technischen Herausforderungen verbunden. Es besteht die Notwendigkeit, einen intelligenten Weg zu finden, um das ETCS-System zu vereinfachen und seine Einführung zu beschleunigen. Könnte ETCS Level 1 Limited Supervision (L1 LS) die Antwort auf diese Herausforderung sein?

1 Einleitung

Beim derzeitigen Stand der Umsetzung des ETCS-Systems ist es schwierig, einen realistischen Termin für die Verwirklichung der Interoperabilität im europäischen Eisenbahnnetz zu nennen. Das Fehlen einer echten technischen Interoperabilität bedeutet zum Teil nicht messbare Kosten für die Infrastrukturbetreiber und Eisenbahnunternehmen. Dazu gehört auch die Aufrechterhaltung von Klasse-B-Systemen sowohl auf der Seite der Eisenbahninfrastruktur als auch auf der Seite der Betreiber. Der derzeitige Stand sowie das Vorantreiben der Umsetzung des ETCS-Systems in der Europäischen Union sind daher für alle Teilnehmer des Eisenbahnmarktes, von den Infrastrukturbetreibern, den Eisenbahnunternehmen, den Sicherheitsbehörden (NSA) bis hin zur Europäischen Kommission, der Europäischen Eisenbahngesellschaft (ERA) und den Systemherstellern, von größtem Interesse und Gegenstand von Diskussionen. Daher sind die Fragen verständlich: Was können wir tun, um die Einführung von ETCS zu beschleunigen? Was sind die Haupthindernisse für seine Umsetzung?

Die Teilnehmer der ERA ERTMS 2024-Konferenz in Valenciennes wiesen darauf hin, dass die einzige Möglichkeit zur Beschleunigung darin besteht, die Denkweise zu ändern und von einer korridorbasierten zu einer flächenbasierten Umsetzung des ETCS überzugehen. [1, 2] Dies bedeutet jedoch, dass die Mitgliedsländer größere Anstrengungen unternehmen und zahlreiche Hindernisse überwinden müssen.

Das erste Problem in solchen Fällen ist immer die Notwendigkeit, die Finanzierung von Investitionsprojekten zu sichern, vor allem, wenn man den zunehmenden Umfang der Investitionen in das gesamte Eisenbahnnetz der Länder der Europäischen Union berücksichtigt.

Eine weitere Herausforderung sind die in Betrieb befindlichen Infrastrukturen, die mit Systemen und Ausrüstungen älterer Generation ausgestattet sind, die nicht mit dem ETCS Level 2 (ETCS L2) kompatibel sind.

Ein wichtiges Thema bei modernen computergestützten Systemen ist die Stabilität der Spezifikationen zur Umsetzung komplexer Funktionen, z. B. des Full Supervision (FS)-Modus. Jeder Nutzer des ETCS-

The implementation of the European Train Control System (ETCS) has been underway in Europe for more than 20 years, albeit that the process has been slower than originally anticipated. The system is currently in operation on more than 7,000 km of railway lines in Europe [1, 2], which accounts for just over 3 % of the entire European network [3]. Is it possible to find a smart way of simplifying the ETCS system and speeding up its implementation? Could ETCS Level 1 Limited Supervision (L1 LS) be the answer to this challenge?

1 Introduction

The current implementation advancement of the ETCS system makes it difficult to speak of a realistic date for achieving interoperability in the European rail network. The lack of any real technical interoperability results in measurable costs for infrastructure managers and railway undertakings. This involves maintaining Class B systems on both the side of the rail infrastructure and that of the operator.

The current state of ETCS implementation in the European Union is therefore a matter of interest and discussion for all the participants in the rail market, from infrastructure managers, railway undertakings and safety authorities (NSAs) to the European Commission, the European Union Agency for Railways (ERA) and the system manufacturers. Hence, the main questions are as follows. What can we do to accelerate the implementation of ETCS and what are the main obstacles to its implementation?

The participants at the 2024 ERA ERTMS conference in Valenciennes indicated that the only way to speed things up is to change the mindset and move from a corridor-based implementation of ETCS to an area-based one. [1, 2] However, this implies increased efforts on the part of the member countries and the need to overcome numerous obstacles.

The first issue in such cases is always the need to secure funding for investment projects, especially if we take the increased scale of investment in the entire rail network in EU countries into account.

Another challenge involves the lack of technical readiness in the infrastructure already in service, as it is equipped with an older generation of equipment and signalling systems that are not compatible with ETCS Level 2 (ETCS L2).

An important issue for complex computer-based systems is the stability of the specifications that implement complex functionalities, e.g. Full Supervision (FS) mode. Each user of the ETCS

Systems erwartet, dass sich die Funktionalität des Systems weiterentwickelt und zunehmend an die jeweils nationalen Vorschriften angepasst wird. Dies führt zu einer zunehmenden Komplexität des Systems und zur Schaffung zahlreicher nationaler Varianten, die nicht miteinander kompatibel sind. Diese Komplexität hat auch Konsequenzen in Form von zeit- und kostenintensiven Freigabeprozessen. Hinzu kommt, dass die Betreiber im Rahmen ihrer Kompatibilitätsprüfungen (ESC) einzelne Fahrzeuge für einzelne Bahnen zulassen müssen.

Es ist auch auf den Mangel an qualifiziertem Personal hinzuweisen. Dies betrifft insbesondere die Systembenutzer: Infrastrukturbetreiber und Eisenbahnunternehmen. ETCS ist ein weiteres System, mit dem sich das technische Personal vertraut machen muss.

Das ETCS L1 Limited-Supervision-System (LS-System) ermöglicht es, auf vereinfachte Weise die Sicherheitsfunktion der Eisenbahn zu erfüllen. Im Gegensatz zur vollständigen ETCS-Überwachung (FS) überwacht das LS-System den Lokführer „im Hintergrund“, indem es auf Geschwindigkeitsverstöße reagiert. Trotz seiner Beschränkungen ist das LS-System in seinem Rahmen interoperabel.

2 Beschreibung der Annahmen des ETCS L1 LS-Systems

In Polen haben die Nationale Sicherheitsbehörde (Chef der Eisenbahnverkehrsbehörde UTK) und der Infrastrukturbetreiber (Polskie Koleje Państwowe Polskie Linie Kolejowe, PKP PLK) Annahmen für die Umsetzung von LS festgelegt, die im Rahmen des technischen Dialogs mit der Industrie zwischen 2022 und 2023 überprüft wurden. Die Grundannahmen des LS-Projekts sind:

- Vollständige Interoperabilität – ohne Verwendung spezifischer nationaler Lösungen wie des Pakets 44 (Englisch: Data used by applications outside the ERTMS/ETCS system) [4]
- Funktionalität, die nicht schlechter ist als die des bestehenden Klasse-B-Systems (polnische automatische Zugbremsanlage, im Folgenden: SHP)
- einfache Systemwartung – durch Standardisierung der Lösung
- das Fahren des Triebfahrzeugführers auf der Grundlage der Meldungen der streckenseitigen Signalisierung, wodurch gefährliche Eisenbahnunfälle wie SPAD (Signal Passed At Danger – Signalüberfahring) reduziert werden
- deutlich geringere Installationskosten im Vergleich zu ETCS L1 FS
- Niedrige Betriebskosten des Systems.

Der derzeitige Ansatz von PKP PLK geht davon aus, dass LS eine ergänzende Lösung zu FS-Systemen sein wird. LS ist für die Strecken vorgesehen, die noch nicht in dem Nationalen Umsetzungsplan für technische Spezifikationen der Interoperabilität 2017 „Steuerung“ [5] umfasst sind. Auf diese Weise wird LS die Erreichung von Interoperabilität im Umfang des polnischen Eisenbahnnetzes ermöglichen und kann ein wichtiger Schritt zur Deinstallation von Klasse-B-Systemen sein [6].

UTK hat in Zusammenarbeit mit PKP PLK ein LS-Konzept in drei Varianten entwickelt:

- Variante 1, die einfachste, soll das derzeit in Polen verwendete SHP-System funktional ersetzen. In dieser Variante werden nur Eurobalisen ohne LEU (Lineside Electronic Unit) verwendet;
- die Varianten 2 und 3 werden durch den Einsatz von LEU erweitert.

Die Kombud Group Ingenieure analysierten die von UTK und PKP PLK vorgestellten Varianten und schlugen eine weitere Vereinfachung der Installation und eine Erweiterung der Funktionalität der LS-Varianten vor.

Die erste Version dieses Vorschlags wurde auf der wissenschaftlichen Konferenz „Digitale Eisenbahn – Limited Supervision“ vorgestellt, die von der Fakultät für Verkehr der Technischen Universität Warschau im November 2023 organisiert wurde. An der Konferenz

system expects the system's functionality to evolve and to be increasingly adapted to their own national regulations. This leads to the increasing complexity of the system and the creation of many variants that are incompatible. This complexity also has consequences in terms of time-consuming and costly release processes. What's more, the operators are required to authorise individual vehicles for each individual railway as part of the compatibility tests (ESC).

The shortage of qualified staff particularly affects the system users, i.e. infrastructure managers and railway undertakings. ETCS is another system that technical staff have to learn how to use.

The ETCS L1 Limited Supervision system (LS) provides a simplified way of performing the railway safety function. Unlike ETCS FS, LS supervises the driver “in the background” in that it reacts to any excess speed events. Despite its limitations, LS allows full interoperability.

2 A description of the ETCS L1 LS system assumptions

In Poland, the national safety authority (The Office of Rail Transport, hereafter the UTK) and the infrastructure manager (Polskie Koleje Państwowe Polskie Linie Kolejowe S.A., hereafter PKP PLK) have established assumptions for the implementation of LS, which were reviewed between 2022 and 2023 as part of the technical dialogue with the industry. The basic assumptions of the LS project are:

- full interoperability without the use of any specific national solutions such as Package 44 (see Data used by applications outside the ERTMS/ETCS system) [4]
- functionality at a level not lower than the existing Class B system (Polish automatic train braking equipment, hereafter referred to as SHP)
- easy system maintenance achieved by standardising the solution
- train operations based on trackside signalling indications with the reduction of any dangerous railway incidents such as SPAD (signal passed at danger)
- significantly lower installation costs compared to ETCS L1 FS
- the low lifecycle cost of the system.

PKP PLK's current approach assumes that LS will be a complementary solution to the FS system. LS is envisaged for those lines that have not yet been covered by the 2017 National Plan for the Implementation of Technical Specifications for Interoperability “Command Control and Signalling” [5]. As such, LS will enable interoperability on the railway network in Poland and may be an important step towards the de-installation of Class B systems [6].

UTK, in cooperation with PKP PLK, has developed an LS concept in three variants:

- Variant 1 is the simplest and is intended to functionally replace the SHP system currently used in Poland. Only Eurobalises are used in this variant, i.e. without LEU;
- Variants 2 and 3 are extended by the use of the LEU.

The engineers from Kombud Group have analysed the variants presented by UTK and PKP PLK and proposed a further installation simplification and the expansion of the LS variant functionality.

The first version of this proposal was presented at the “Digital Railway – Limited Supervision” scientific conference organised by the Faculty of Transport at the Warsaw University of Technology in November 2023. The conference was attended

nahmen Vertreter der Eisenbahngemeinschaft teil, darunter Vertreter der Europäischen Kommission, der Marktregulierungsbehörden und der Industrie.

3 Der Ansatz des Teams von Kombud Group

Die Vereinfachungen des ETCS L1 LS-Systems ermöglichen eine Senkung der Implementierungskosten (Entwurf und Installation), insbesondere aufgrund der geringeren Datenmenge, die zur Konfiguration des Systems im Vergleich zu FS erforderlich ist.

Die Geschwindigkeit der Umsetzung wird auch durch die Dauer und Komplexität des Systemabnahmeverfahrens beeinflusst. Derzeit wird das ETCS-System auf der Grundlage von Testläufen und der Erfüllung von in Betriebsszenarien definierten Bedingungen geprüft und abgenommen. Die standardisierte Software der LS-Ausrüstung ermöglicht es, die im Leistungsspektrum enthaltenen Telegramme einmal auf dem Übungsgelände zu überprüfen und dann auf dem Schienennetz zu replizieren.

Bei der Entwicklung der LS-System-Lösung verfolgten die Autoren die folgenden technischen und organisatorischen Ziele:

- Migration von der Einzelfallplanung zur industriellen, bereichsbezogenen Installation von vordefinierten Lösungen
- die Vielseitigkeit der Lösung, die Ausrüstung unabhängig vom Standort zu transportieren
- Fehlen von strengen Anforderungen an die Installationsgenauigkeit (unnötige Vermessungen)
- Verwendung des Katalogs der typischen Telegramme (ATT Katalog)
- Durch die fehlende Verknüpfung können Eurobalisengruppen dort platziert werden, wo die Eurobalisengruppenfunktionalität zum Tragen kommen soll.
- vollständige Wartungsfähigkeit (Überwachung, Diagnose, Fehlerbehebung, Neuprogrammierung) durch das Personal des Infrastrukturbetreibers, die durch wiederholte Konfigurationen und die Art und Weise, wie die LEU-Einheiten mit den Signalen verbunden sind, erreicht wird
- ein gebietsbezogenes und standardisiertes Konzept für das Vorabgenehmigungsverfahren

by representatives of the railway sector, including representatives of the European Commission, market regulators and the industry.

3 The approach of the Kombud Group team

The simplifications of the ETCS L1 LS system allow a reduction in the implementation costs (design and installation), in particular due to the simplified data engineering compared to FS.

The speed of implementation is also affected by the length and complexity of the system acceptance procedure. Currently, the ETCS system is tested and commissioned on the basis of test runs and the fulfilment of the conditions defined in the operating scenarios. The LS equipment's standardised software allows the telegrams contained in the album (a set of typical telegrams) to be verified once at the test site and then replicated in the rail network.

The authors have adopted the following technical and organisational objectives:

- migration from an individual case-based design to an industrial, area-based installation of predefined solutions
- versatility of the solution meaning that the equipment can be relocated
- a lack of stringent requirements for installation accuracy (unnecessary surveying)
- the use of the album of typical telegrams (ATT)
- the lack of a link allows Eurobalise groups to be placed at the positions where their functionality starts to take effect
- full serviceability (supervision, diagnostics, fault repair, reprogramming) by the infrastructure manager's staff achieved by means of standardised configurations and the method of connecting the LEUs to the signals
- an area-based and standardised approach to the pre-authorisation procedure
- the use of quality modules during certification will standardise the certification process for individual installations

ERTMS | ETCS – Solutions

rmRailProtector4.0®



Meet us at
InnoTrans!

Hall 11.2
Booth 235



Interoperable LEU Coder

- Modular design allowing for expansion of the system or replacement of components.
- Built-in ability to configure and parameterize input circuits.
- Built-in, centralized LEU diagnostics.

signalling4you.com

- Verwendung von Qualitätsmodulen bei der Zertifizierung – somit wird das Zertifizierungsverfahren für einzelne Anlagen standardisiert
- Automatisierung der Überprüfung von Eurobalisen- und LEU-Telegrammen und Vergleich mit der elektronischen Version der Album-Dokumentation
- Vereinfachung des Abnahmeverfahrens – keine Prüfung mit dem Schienenfahrzeug erforderlich
- Einführung eines kurzen LSTM/L0-Abschnitts an der FS/LS-Grenze, sodass bei der Installation des LS-Systems keine Änderungen an bestehenden FS-Anlagen erforderlich sind.

Für die Varianten 2 und 3 gilt darüber hinaus:

- Reduzierte Folgen von SPAD-Ereignissen wie Kollisionen und Entgleisungen (die Lösung besteht darin, das Anhalten vor einer gefährlichen Stelle zu erzwingen, z.B. in einem Durchrutschweg)
- Verringerung der negativen Auswirkungen von ETCS auf den reibungslosen Zugverkehr, die bei den derzeitigen streckenseitigen ETCS L1 FS-Anlagen zu beobachten sind.

3.1. Katalog der typischen Telegramme (ATT)

Eine Grundvoraussetzung für den Erfolg eines Großprojekts ist eine tiefgreifende Standardisierung. Dadurch werden der Entwurf, die Datenaufbereitung und die Abnahme erheblich vereinfacht. Die Autoren schlagen vor, die klassische Idee zu verwenden, die die Eisenbahnverkehrssteuerung seit der Zeit der Relaisysteme begleitet hat. So wie bei Relaisystemen die Konstrukteure einen „Katalog der typischen Diagramme“ verwenden, lohnt es sich im Falle des LS-Systems, einen „Katalog der typischen Telegramme“ zu verwenden und anstelle eines individuellen Entwurfs die entsprechenden „Bausteine“ auszuwählen, aus denen das fertige Projekt besteht.

- the automation of the verification of Eurobalises and LEU telegrams and their comparison with the album documentation (ATT)
 - the simplification of the commissioning process - no vehicle-based testing required
 - the introduction of a short LSTM/L0 section at the FS/LS system border, so that no changes to the existing FS installations will be required when installing the LS system
- In addition, for variants 2 and 3
- reduced consequences of SPAD events, such as collisions and derailments (the solution is to force the driver to stop before the danger point, e.g. at the overlap)
 - the reduction of the negative impact of ETCS on traffic flow that may occur in existing ETCS L1 FS trackside installations.

3.1 Album of Typical Telegrams (ATT)

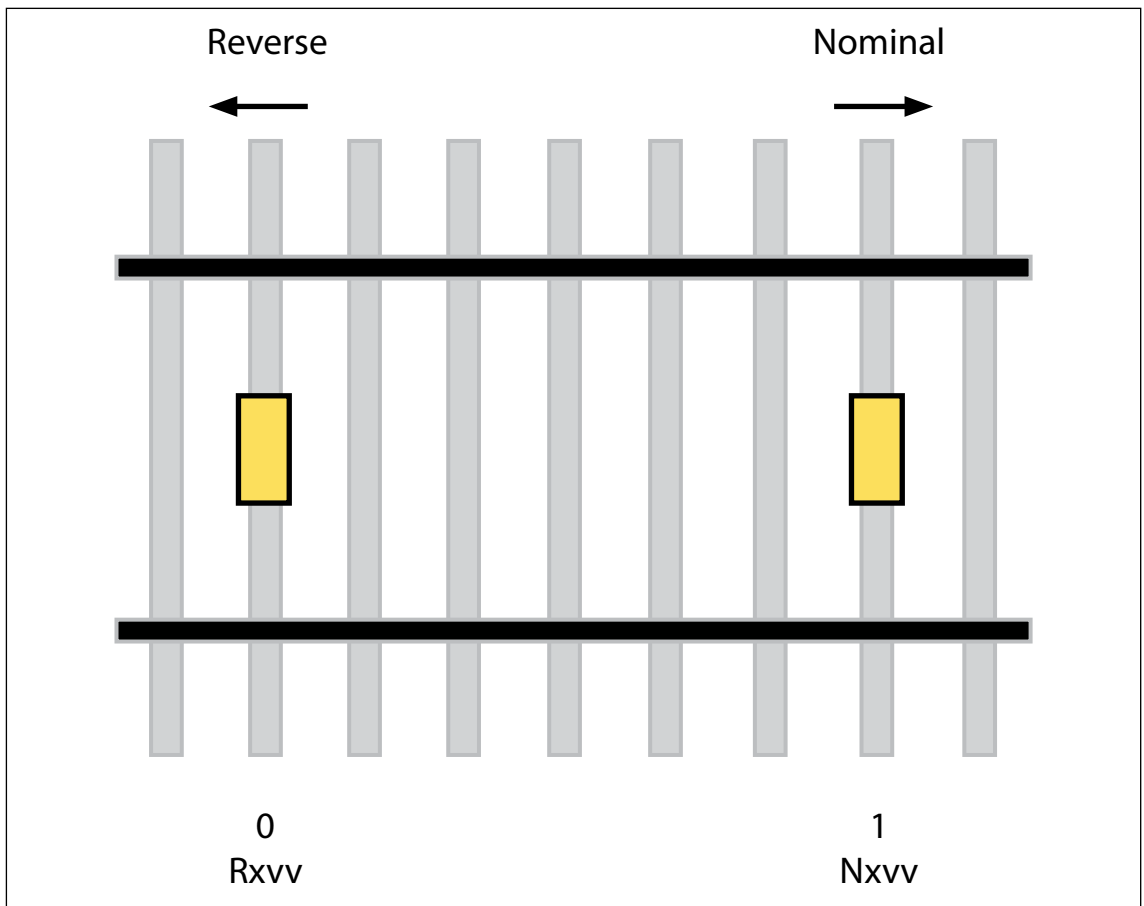
In-depth standardisation constitutes a fundamental assumption and prerequisite for the success of a large-scale project. This will considerably simplify the design, data preparation and commissioning process. The authors propose using the classic idea that has accompanied railway traffic control since the time of relay interlockings. Just as designers use an “album of typical diagrams” in relay systems, so too is it worth using an “album of typical telegrams” in the LS system and selecting the suitable “building blocks” that make up the finished project instead of the individual design.

The basic assumptions of the ATT

- multiple use of the same NID_BG balise group identifier
- Eurobalise groups always consist of two balises
- the packets are divided according to the direction of validity:

Bild 1: Standardisierung der Eurobalisen-Nomenklatur

Fig. 1: The standardisation of Eurobalise nomenclature



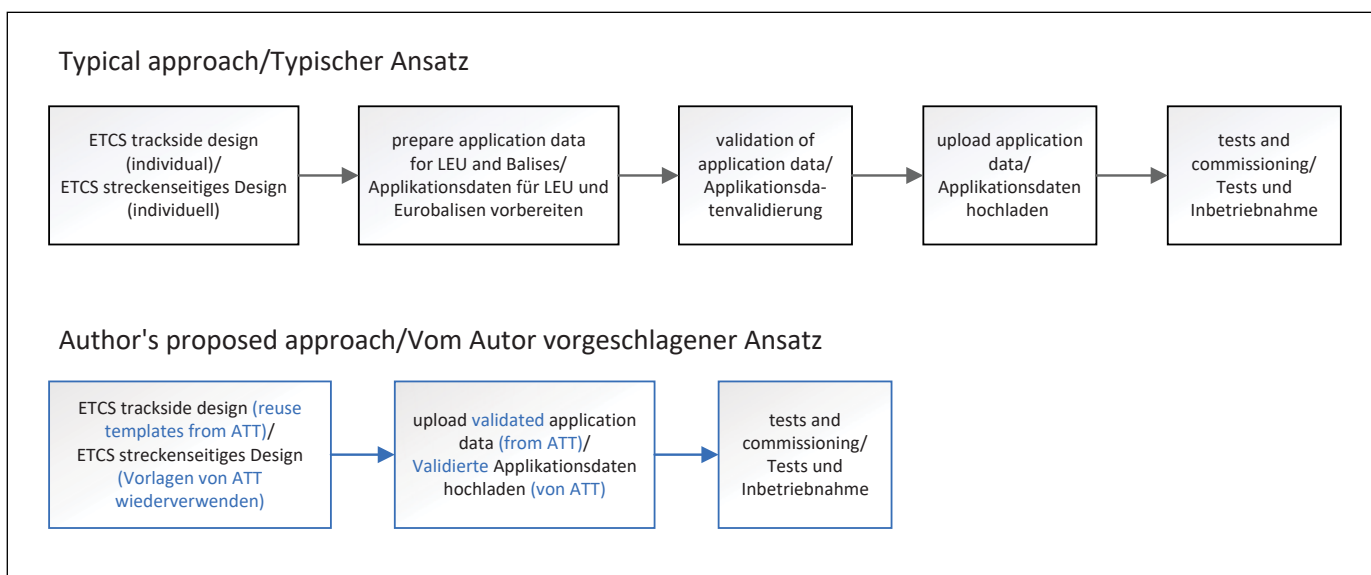


Bild 2: Vergleich der Datenaufbereitungsstufen

Fig. 2: A comparison of the data preparation stages

Die Grundannahmen von ATT:

- Mehrfache Verwendung der gleichen Balisengruppen-Kennung NID_BG.
- Eurobalisengruppen bestehen immer aus zwei Teilen.
- Die Pakete sind nach der Gültigkeitsrichtung unterteilt:
 - Eurobalise R (N_PIG=0) enthält nur Pakete für die Rückwärtsrichtung (Reverse);
 - Eurobalise N (N_PIG=1) enthält nur Pakete für die Vorwärtsrichtung (Nominal).
- Eindeutig definierte Telegrammfunktionen durch die Verwendung von numerischen Kodierungen (Nxvzv, Rxvzv):
 - „x“ – Telegrammfunktion (z. B. 1 – Warnung, die vom Fahrer quittiert werden muss, 2 – Geschwindigkeitswechsel usw.).
 - „zv“ – Einführung einer Vmax Geschwindigkeitsbegrenzung, z. B. „N206 tel“ ist ein Telegramm zur Änderung der

- Eurobalise R (N_PIG=0) only contains packets for the reverse direction,
- Eurobalise N (N_PIG=1) only contains packets for the forward (nominal) direction
- clearly defined telegram functions through the use of numerical coding (Nxvzv, Rxvzv):
 - “x” – the telegram’s function (e.g. 1 – a warning requiring driver acknowledgement, 2 – speed change, etc.).
 - “zv” – the introduction of a Vmax speed limit, e.g. “N206” is a telegram that changes the maximum speed to 60 km/h in the nominal direction
- the telegrams are only validated once when they have been created and added to the ATT
- a significantly simplified and accelerated LS design process. The designer selects the Eurobalise telegrams from the ATT

ERTMS | ETCS – Solutions

rmRailProtector4.0®



Meet us at
InnoTrans!

Hall 11.2
Booth 235



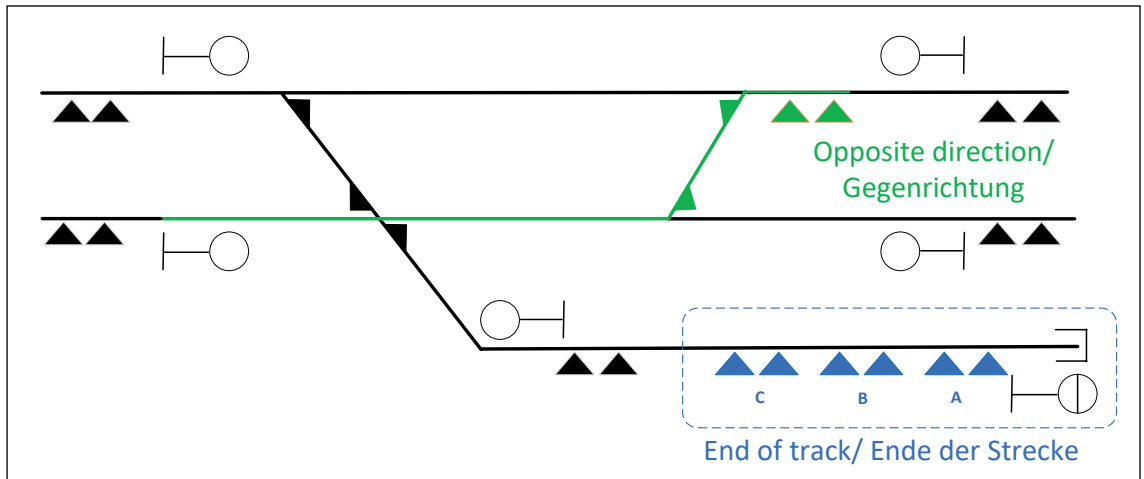
Reliable & cost-effective Fixed and Controlled Balises

- The on/off function for balises enables efficient and safe installation works on active lines.
- Possibility to identify the author, content and time of any changes in telegrams thanks to specialized software.
- Scalability – a robotic production line with high efficiency and low unit cost.

signalling4you.com

Bild 3: Vorstellung der W2/3 no LEU Funktionalität auf dem Gleisbild

Fig. 3: An idea of W2/3 no LEU functionality on the track layout



Höchstgeschwindigkeit auf 60 km/h für die Richtung Nominal.

- Die Validierung von Telegrammen findet nur einmal statt, wenn sie erstellt und dem ATT hinzugefügt werden.
- Erhebliche Vereinfachung und Beschleunigung des Designprozesses von LS. Der Planer wählt die Inhalte der Eurobalisen mit ATT entsprechend der Funktion aus, die sie auf der Baustelle erfüllen sollen. Auf dieser Grundlage erstellt er einen vereinfachten schematischen Plan und eine tabellarische Übersicht über die Eurobalisenkonfiguration.
- ATT enthält auch Telegramme für die LEU-Programmierung.
- Sie enthält auch Modell-Entscheidungsstabellen für LEU.
- Vereinheitlichung der Verbindung zwischen den Entscheidungstabellen und dem Telegrammsatz.

Für ATT angenommene Vereinfachungen:

- Für das gesamte Gebiet gilt eine Steigung von =0.
- Erlaubnis, die Strecke von 30 km zu fahren, aktualisiert, wenn die nächste Balisengruppe gelesen wird.
- Das Geschwindigkeitsprofil enthält nur einen Wert. Die Überwachung der Höchstgeschwindigkeit ist so lange gültig, bis die nächste Gruppe mit einem anderen Vmax-Wert ausgelesen wird.

according to the function they are to perform at the site. A simplified schematic plan and a tabular overview of the Eurobalise configuration is created on this basis.

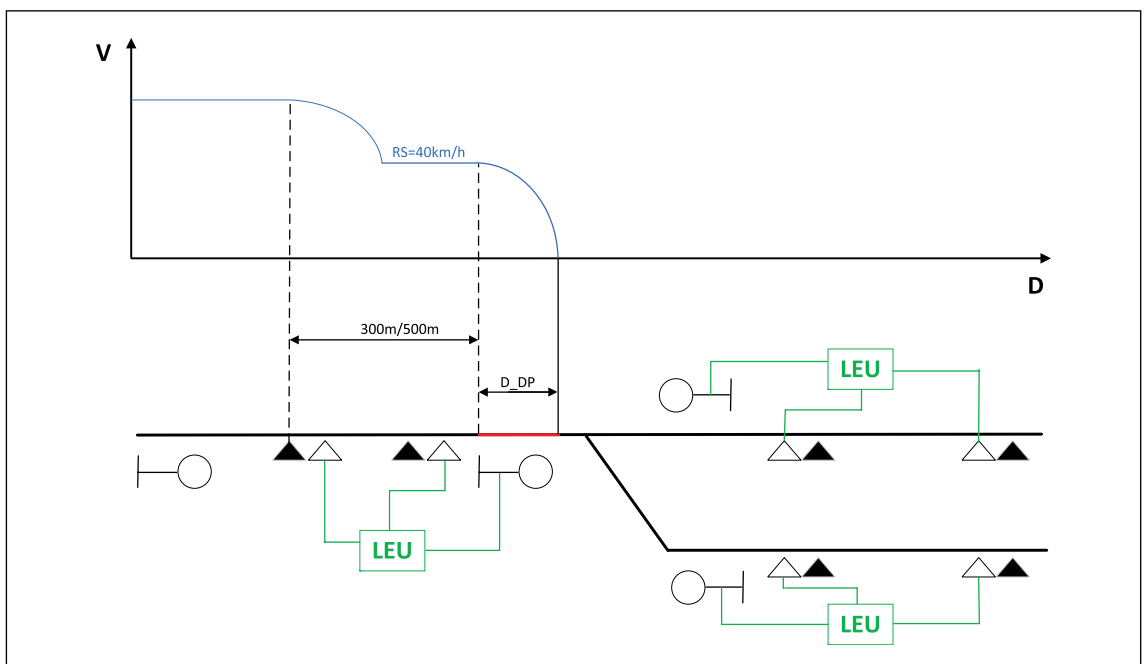
- the ATT also includes the telegrams for LEU programming
 - it also includes standardised decision tables for the LEU
 - the correlation of the decision tables and the sets of telegrams
- Simplifications accepted for the ATT:

- a gradient value of 0 applies throughout the LS area
- permission to drive over a distance of 30 km, updated when the next balise group is read.
- the speed profile contains only one value; the maximum speed monitoring is valid until the next group is read out with a different Vmax value.
- the LEU supervises up to eight signal lights (the same wiring pattern for all the signals)

The basic idea is that the set of ATT telegrams will be open and accessible to all the market participants. It will contain validated telegrams with a description of their functionality (the impact on the vehicle's ETCS equipment) and clear instructions as to which locations they should be used in.

Bild 4: Vorstellung der W2/3 Funktionalität auf dem Gleisbild

Fig. 4: An idea of W2/3 functionality on the track layout



- Im Falle von LEU werden bis zu acht Signale überwacht (gleicher Schaltplan für alle Signale).

Die Grundidee ist, dass der Satz von ATT-Telegrammen offen und für alle Marktteilnehmer zugänglich sein wird. Er wird validierte Telegramme mit einer Beschreibung ihrer Funktionalität (Auswirkung auf die ETCS-Ausrüstung des Fahrzeugs) und klare Anweisungen, an welchen Orten sie verwendet werden können, enthalten.

3.2 Standardisierung der Lösung

Die Verwendung einer einheitlichen Basis von Telegrammen und LEU-Konfigurationen ermöglicht die Übertragbarkeit der Lösung zwischen verschiedenen Installationsorten. Wo immer die gleichen Telegramme von ATT (einschließlich LEU-Konfigurationen) verwendet werden, verhält sich das System auf die gleiche Weise.

Dadurch ändert sich die Wahrnehmung von ETCS L1 LS – nicht als komplexes System, sondern als einzelne Geräte, die leicht zu finden, zu reparieren oder zu ändern sind. Jede Änderung – z.B. eine Geschwindigkeitsänderung, das Hinzufügen einer Weiche usw. – ist punktgenau. Sie wirkt sich nur auf die Konfiguration der nächstgelegenen Balisengruppen aus, sodass sie vom Personal des Infrastrukturbetreibers erfolgreich umgesetzt werden kann.

Auch im Hinblick auf die Gestaltung der LEU-Installation (Anschluss an die Signalschaltungen) ist eine Standardisierung erforderlich – immer derselbe Lichtpunkt wird an dieselbe LEU-Eingangsnummer angeschlossen. Eine solche Standardisierung des Anschlusses ermöglicht die Austauschbarkeit der LEU zwischen verschiedenen Standorten und vermeidet Verdrahtungsfehler bei der Installation und Wartung der LEU. Für die gleichen Signalmeldungen gelten die gleichen Telegramme in Bezug auf Geschwindigkeit und Länge der Fahrerlaubnis (MA).

3.3 Reduzierung der Auswirkungen von SPAD-Ereignissen

Die Autoren schlugen vor, die Varianten 2 und 3 der ursprünglichen Studie [7] zu einer Variante 2/3 zu kombinieren. Die Grundfunktion des Systems in der Variante 2/3 besteht darin, das Abbremsen des Fahrzeugs vor dem Signal zu erzwingen, das „Halt“, Geschwindigkeitsbegrenzung oder ein zweifelhaftes Signal anzeigt. Gleichzeitig

3.2 Standardising the solution

The use of a unified base of telegrams and LEU configurations will allow the solution to be applied at different locations (installation sites). The system will behave in the same way wherever the same telegrams from ATT (including LEU configurations) are used.

This changes the perception of ETCS L1 LS, i.e. not as a complex system, as but individual devices that are easy to locate, repair and modify. Any modification (e.g. a change of speed, the addition of a turnout, etc.) only applies to the place of the change and only affects the configuration of the nearest few groups of balises, so it can be successfully carried out by the infrastructure manager's staff.

Standardisation is also necessary as far as the LEU installation design is concerned (the connection to the signal light circuits); the same signal lamp is always connected to the same LEU input number. This standardisation of connections allows the LEUs to be replaceable between locations and avoids any wiring errors during LEU installation and servicing. The same telegrams apply to the same signal aspects in terms of speed and the length of the movement authority (MA).

3.3 Reducing the effects of SPADs

The authors propose merging variants 2 and 3 from the original study [7] into one variant called 2/3. The basic functionality of the system in the 2/3 variant is to enforce vehicle braking before a signal at “stop”, the speed limit or a non-plausible signal. At the same time, the authors were mindful of the previous negative experiences of train operators related to the overly early reduction of vehicle speed by ETCS L1 during a speed reduction when they were designing the solution. This issue was mainly caused by restrictive (long) braking curves, the arrangement of the balise groups at the warning signal and the failure to use the distance in front of the danger point where the vehicle could “finish” its braking.

The proposed solution is a compromise between reduction of the possible effects of SPADs and an overly early start to braking (compared to

ERTMS | ETCS – Solutions

rmRailProtector4.0®

Meet us at
InnoTrans!Hall 11.2
Booth 235

Hardware protected, air gap Programming Tool

- Possibility to lock and unlock the balise from the programming tool via the air gap, without cables
- Handy case providing good protection against weather conditions (IP 65)
- Rechargeable batteries with a working time of up to 20 hours
- Wi-Fi interface for diagnostic and programming from PC
- GPS for data collection and time synchronization
- Increased cybersecurity via programmable, registered access keys

signalling4you.com

haben die Autoren bei der Entwicklung der Lösung die bisherigen negativen Erfahrungen der Spediteure mit der zu frühen Reduzierung der Fahrzeuggeschwindigkeit durch ETCS L1 während der Geschwindigkeitsreduzierung berücksichtigt. Dies lag vor allem an engen (langen) Bremskurven, dem Einsatz von Balisengruppen am Signal und der Nichtnutzung des Abstands vor der Gefahrenstelle, in dem das Fahrzeug seine Bremsung „abschließen“ kann.

Die vorgeschlagene Lösung ist ein Kompromiss zwischen der Reduzierung der Auswirkungen von SPAD und einer zu frühen Einleitung der Bremsung (im Vergleich zum Fahren ohne ETCS-Überwachung) und der Standardisierung der Lösung (Begrenzung der Anzahl der LEU-Konfigurationen).

Ein Kompromiss besteht darin, die Signalschutzgruppe 300 m (für $V \leq 70$ km/h) oder 500 m (für $V < 120$ km/h) vor dem Signal zu platzieren. Bei Bahnhofsgleisen gehen die Autoren aufgrund der begrenzten Länge und Geschwindigkeit davon aus, dass Sicherheitsbalisen nur auf den Hauptgleisen in einem Abstand von 300 m vor

driving without any ETCS supervision) and the standardisation of the solution (limiting the number of LEU configurations).

A compromise involves locating the signal protection balise group 300 m (for $V \leq 70$ km/h) or 500 m (for $V \leq 120$ km/h) before the signal. Given the limited length and the permitted speed on station tracks, the authors anticipate the installation of balises only on the main tracks at a distance of 300 m in front of the exit signal. In this way, emergency braking will be applied at that point if a vehicle is travelling at a speed that is too high to stop or slow down in front of the signal.

3.4 A comparison of the functionalities of the LS variants

The W2/3 no LEU variant is based only on non-switchable balises with standardised telegrams. It is simple and increases the level of security compared to the current state.

The grey areas in tab. 1 indicate the additional functionality with which the previously proposed variants [7] have been extended, in-

Funktionsweise \ LS-Variante	SHP	W1	W2/3 no LEU	W2	W3	W2/3
Warnung	+	+	+	+	+	+
Kontrolle der Wachsamkeit des Lokführers	+	+	+	+	+	+
Überwachung der Höchstgeschwindigkeit	-	+	+	+	+	+
Erkennung von Balisendiebstahl	-	+	+	+	+	+
Anhalten vor dem Ende der Strecke	-	-	+	-	-	+
Warnung beim Fahren in Gegenrichtung (W24)	-	-	+	-	-	+
Warnung + erzwungener STOPP beim Befahren eines Einbahngleises in Gegenrichtung zum Nominal	-	-	+	-	-	+
Kontrolle der Verbotssignale	-	-	-	+	+	+
Erkennung eines zweifelhaften Begriffs an einem Signal	-	-	-	-	+	+
Geschwindigkeitsüberwachung nach dem Signal	-	-	-	-	+	+
Geschwindigkeitsbegrenzung im Bereich des Bahnübergangs (wie von Überwachungssignal angegeben)	-	-	-	-	-	+
Geschwindigkeitsbegrenzung im Bereich des Bahnübergangs (durch Überwachung der Schranken)	-	-	-	-	-	+
Schutz vor den Auswirkungen von SPAD an Einfahrtssignalen	-	-	-	-	+	+
Schutz vor den Auswirkungen von SPAD an Ausfahrtssignalen	-	-	-	-	-	+

Tab. 1: Vergleich verschiedener ETCS L1LS-Varianten

Functionality \ LS variant	SHP	W1	W2/3 no LEU	W2	W3	W2/3
Warning	+	+	+	+	+	+
Driver vigilance check	+	+	+	+	+	+
Maximum speed monitoring	-	+	+	+	+	+
Detection of balise theft	-	+	+	+	+	+
Stop before the end of the track	-	-	+	-	-	+
Warning when driving in the opposite direction (W24)	-	-	+	-	-	+
Warning + enforced STOP when driving on a one-way track in the opposite direction	-	-	+	-	-	+
Stop signal control	-	-	-	+	+	+
Detection of a non-plausible signal at a signal	-	-	-	-	+	+
Speed monitoring by signal	-	-	-	-	+	+
Speed limit in the area of a level crossing (as indicated by a distant level crossing signal)	-	-	-	-	-	+
Speed limit in the area of a level crossing (ascertained by monitoring the crossing barriers)	-	-	-	-	-	+
Protection against the effects of SPADs on the entry signals	-	-	-	-	+	+
Protection against the effects of SPADs on the exit signals	-	-	-	-	-	+

Tab. 1: A comparison of the different ETCS L1LS variants

INNOTRANS 2024

Gestalte die Zukunft der Mobilität

Was könnte dein Beitrag zur Zukunft der Mobilität sein? Schau während der InnoTrans 2024 am Stand von Siemens Mobility im hub27 vorbei und finde es heraus! Wir stellen ein, unter anderem in den Bereichen Technik, IT, Fertigung und Projektmanagement. Ob Du am Anfang Deiner Karriere stehst oder über jede Menge Berufserfahrung verfügst: Komm zu uns, teile unsere Leidenschaft für Mobilität und lass uns die Dinge in Bewegung bringen! Unser Recruiting-Team vor Ort freut sich darauf, dich kennenzulernen.

Create a better **#TomorrowWithUs**

Messe
Berlin,
24.-27.
September

Join the
ride at
hub27

[siemens.de/innotrans](https://www.siemens.de/innotrans)



dem Ausfahrtsignal installiert werden. Auf diese Weise wird eine Zwangsbremmung eingeleitet, wenn ein Fahrzeug mit zu hoher Geschwindigkeit unterwegs ist, um vor dem Signal anzuhalten oder abzubremmen.

3.4 Vergleich der Funktionalitäten der LS-Varianten

Die Variante W2/3 no LEU basiert ausschließlich auf nicht schaltbaren Balisen mit standardisierten Telegrammen, ist einfach aufgebaut und erhöht im Vergleich zum aktuellen Stand jedoch das Sicherheitsniveau. In Tab. 1 zeigt die graue Farbe die zusätzliche Funktionalität an, um welche die zuvor vorgeschlagenen Varianten [7] erweitert wurden, wobei die Installationskosten weiter gesenkt wurden. Die blaue Farbe kennzeichnet die verbesserte Funktionalität der Variante 2/3 im Vergleich zu Variante 2.

4 Schlussfolgerungen

Der geplante Vollausbau von ETCS L2 ist aufgrund von teilweisen Kompatibilitätsproblemen zu Bestandsinfrastrukturen nicht zeitnah umsetzbar. Das ETCS L1 LS-System ist als kostengünstige Lösung im Hinblick auf die verwendete Ausrüstung und den Arbeitsaufwand zu betrachten. Es ist jedoch wichtig, die gesamten Lebenszykluskosten des Systems zu minimieren. Einer der Hauptvorteile der LS-Version des Systems besteht darin, dass es aufgerüstet werden kann, wenn eine Strecke auf eine höhere Kategorie aufgerüstet wird.

Es ist wichtig, dass die Systemlieferanten eine maximale Automatisierung und Standardisierung der Prozesse anstreben, um Skaleneffekte in der Produktion bestmöglich zu nutzen und gleichzeitig die Lieferkosten für das LS-System zu senken. Der unbestreitbare Vorteil des Vorschlags in Variante 2/3 ist die Möglichkeit, Signalüberfahrungen zu reduzieren und damit die Gesamtsicherheit zu erhöhen.

Die Autoren dieses Beitrags sind der Ansicht, dass die Normung der Schlüssel zur wirksamen Umsetzung der Interoperabilität ist. Sie sollte jedes Element des Investitionsprozesses abdecken. Von der Vorabgenehmigung (Bereichsansatz statt Linearität) über den Entwurfsprozess (typischer Telegrammkatalog anstatt individueller Entwurf) bis hin zu den Abnahmeprozessen (Verwendung von Standardprüfungswerkzeugen und Zertifizierung mit Qualitätsmodulen).

Die Autoren sind der Ansicht, dass der vorgestellte Ansatz eine vollständige europaweite Interoperabilität innerhalb von etwa zehn Jahren ermöglichen würde. ■

LITERATUR | LITERATURE

- [1] ERA (European Union Agency for Railways) ERTMS Conference 2024, Workshop #5 „How can the deployment of ERTMS for Trackside and On-board be accelerated?“ – presentation, 2024
- [2] ERA (European Union Agency for Railways) ERTMS Conference 2024, Workshop #5 „How can the deployment of ERTMS for Trackside and On-board be accelerated?“ – results of workshop, 2024
- [3] Independent Regulators' Group – Rail, „11th IRG-Rail Market Monitoring Report“, 2023
- [4] ERA (European Union Agency for Railways), „System Requirements Specification, Subset-026 4.0“, 2023
- [5] Ministerium für Infrastruktur und Bauwesen der Republik Polen, „Nationaler Umsetzungsplan für technische Spezifikationen der Interoperabilität“, 2017
- [6] ERA (European Union Agency for Railways), „List of CCS Class B systems 4.0“, 2019
- [7] Technische Universität Warschau, „Gutachten über die betriebliche und technische Durchführbarkeit der Implementierung von ETCS Stufe 1 LS in Polen auf Eisenbahnstrecken, die im aktuellen nationalen Umsetzungsplan für technische Spezifikationen der Interoperabilität nicht mit der Vollversion von ETCS Stufe 1 oder Stufe 2 ausgestattet werden sollen“, 2020

cluding a further reduction in installation costs. The blue areas indicate the improved functionality of variant 2/3 compared to variant 2.

4 Conclusions

The planned full expansion of ETCS L2 cannot be implemented in a timely manner due to compatibility problems with the existing infrastructure.

The ETCS L1 LS system has been identified as a low-cost solution in terms of the used hardware and the work volume involved in its installation. However, it is important to minimize the system's entire lifecycle costs. One of the main advantages of the LS version of the system is its upgradeability when a line is retrofitted to a higher category.

It is important that system suppliers aim for maximum automation and standardisation in the processes in order to make the best use of any economies of scale in production, while at the same time reducing the system's implementation costs. The unquestionable advantage of the proposal in variant 2/3 involves the possibility of minimizing the effects of SPAD incidents and thus increasing the level of railway safety.

The authors of this article believe that standardisation is a key factor for the effective implementation of interoperability. Standardisation should be applied to every stage of the investment process. From pre-authorisation (an area-based approach instead of a line-based one) through to the design process (the album of typical telegrams instead of an individual design) and on to the commissioning processes (the use of standard verification tools and certification using quality modules).

The authors believe that the presented approach would enable full pan-European interoperability to be implemented within approximately ten years. ■

AUTOREN | AUTHORS

Karol Gruszka, Ing. M.Sc.

ETCS-Specialist
Zakłady Automatyki Kombud
Anschrift / Address: ul. Wrocławska 10, PL-26-600 Radom
E-Mail: karol.gruszka@kombud.com.pl

Łukasz Sitarek, Ing. M.Sc.

ETCS-Specialist
Rail-Mil Computers
Anschrift / Address: ul. Wał Miedzeszyński 628, PL-03-994 Warschau
E-Mail: lukasz.sitarek@rail-mil.eu

Dobromir Jasiński, Ing. M.Sc.

ETCS-Specialist
Kombud Group
Anschrift / Address: ul. Wał Miedzeszyński 628, PL-03-994 Warschau
E-Mail: dobromir.jasinski@kombudgroup.com

Jakub Salamon, Ing. M.Sc.

ETCS-Designer
Metroprojekt
Anschrift / Address: ul. Kosmatki 8, PL-03-982 Warschau
E-Mail: jakub.salamon@metroprojekt.pl

Traffic Management System für das Digital Systems Program Sydney

Traffic Management System for the Digital Systems Program in Sydney

Christian Glättli

Sydneys Bedarf an neuer Eisenbahntechnologie ist offensichtlich. Mehrere Ausfälle im Schienennetz verursachten größere Unannehmlichkeiten für viele Pendler. Zurzeit werden noch auf verschiedenen Strecken Gefahrenstellen durch mechanische Zugstopps gesichert, mit denen das Luftventil des Bremsystems der Züge aufgeschlagen wird. Jetzt wird das Schienennetz mit moderner und doch bewährter Technik aufgerüstet. Das eingesetzte System umfasst ein hochmodernes Traffic Management System (TMS) von Siemens, Stellwerke und die Zugsicherung European Train Control System Level 2 (ETCS L2).

1 Geplante Systemfunktionalität ETCS L2 und dynamisches TMS

Sydney ist Australiens bevölkerungsreichste Stadt mit über 5 Mio. Einwohnern. Steigende Passagierzahlen bringen die bestehende Verkehrsinfrastruktur an die Kapazitätsgrenzen. Die Eisenbahn hat an Bedeutung gewonnen, um die Passagierströme in und um Sydney zu befördern. Sydney Trains (ST) als Betreiber hat vor COVID rund 377 Mio. Fahrgäste pro Jahr befördert. [1]

Das „Digital Systems Program“ (DSP) ist ein Teil des milliardenschweren Programms „More Trains, More Services“ (MTMS) [2] der staatlichen Verkehrsbehörde „Transport for New South Wales“ (TfNSW). Das MTMS-Programm vereinfacht und modernisiert das Schienennetz in und um Sydney. Die Fahrgäste sollen mehr Leistungen auf einem einfacheren und zuverlässigeren Netz erhalten. Um dies zu erreichen, werden eine bessere Eisenbahninfrastruktur, neue Züge und zusätzliche Verbindungen bereitgestellt. Die Linien der Metro Sydney werden 2024 in das Eisenbahnnetz integriert, und die Mariyung-Intercity-Züge werden auf der South Coast Line eingeführt. Insgesamt werden 122 Mariyung-Züge geliefert. Seit 2017 wurden mehr als 1700 zusätzliche wöchentliche Züge gefahren.

Das DSP wird die derzeitige Signal- und Leittechnik durch moderne Systeme ersetzen. Die Zuverlässigkeit des Netzes wird erhöht, die Kapazität und das allgemeine Kundenerlebnis auf Sydneys Schienen werden sich verbessern. Erreicht wird dies durch drei Hauptelemente. Die traditionelle streckenseitige Signalisierung, einschließlich ETCS Level 1 Limited Supervision (L1LS), wird in einigen Bereichen durch die neueste Führerstandssignalisierung des ETCS L2 abgelöst. Außerdem wird ein automatischer Zugbetrieb (ATO) mit einem Automatisierungsgrad (GoA) von bis zu GoA 2 eingeführt, die den Triebfahrzeugführer unterstützt, diesen jedoch nicht ersetzt. Die Einführung eines Traffic Management Systems (TMS) hilft der Bahn, sich schneller von Störungen zu erholen. Das TMS wird auch dazu beitragen, das gesamte Netz so effizient wie möglich zu betreiben [3].

Sydney's need for new railway technology is obvious. Several rail network outages have caused inconvenience for many commuters. Danger points on multiple lines are secured using mechanical train stops that smash the air valves on the trains' brake systems open. Now, the rail network is in the process of being upgraded with modern and proven technology. The deployed system includes a state-of-the-art Traffic Management System delivered by Siemens, interlockings and the advanced Automatic Train Protection (ATP) European Train Control System Level 2 (ETCS L2).

1 Planned ETCS L2 system functionality and the dynamic TMS

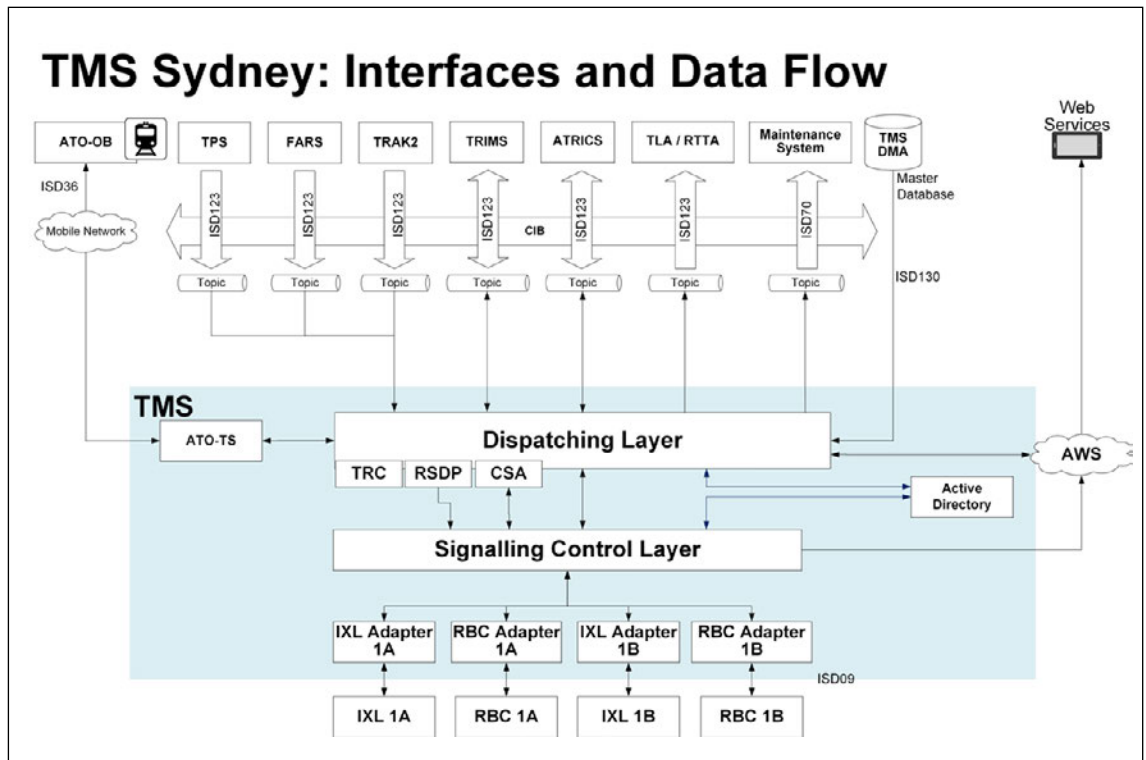
Sydney is Australia's most populated city with over five million inhabitants. Increasing passenger numbers are bringing the existing transport infrastructure close to its capacity limits. The railway has become more important as a means of moving the passenger masses in and around Sydney. As the operator, Sydney Trains (ST) moved around 377 million passengers per year before COVID. [1]

The „Digital Systems Program“ (DSP) is a part of the multi-billion-dollar „More Trains, More Services“ (MTMS) program [2] of the state's transport agency, Transport for New South Wales (TfNSW). The MTMS-program simplifies and modernises the rail network in and around Sydney. Passengers will receive more services on a simpler and more reliable network. A better railway infrastructure, new trains and extra services will be delivered in order to achieve this. Sydney Metro lines will be integrated with the heavy rail network in 2024 and Mariyung intercity trains will be introduced to the South Coast Line. A total of 122 Mariyung trains will be delivered. More than 1700 additional weekly services have been run since 2017.

The DSP will replace the current signalling and train control technology with modern systems. The network's reliability will be higher, while the capacity and the overall customer experience on Sydney's railways will increase. This will be achieved via three main elements. The traditional trackside signalling, including Level 1 limited supervision functionality in a few areas, will be upgraded to the latest ETCS L2 cab signalling. Automatic Train Operation (ATO) of up to Grade of Automation 2 (GoA 2) will be implemented to assist the drivers, who will remain in control. And a Traffic Management System (TMS) will be introduced to help the railway recover more quickly from any disruption. The TMS will also help to manage the overall network as effectively as possible [3].

Bild 1: TMS Sydney: Schnittstellen und Datenfluss

Fig. 1: TMS Sydney: interfaces and data flow



Das DSP wurde 2018 mit einer staatlichen Finanzierung durch die Regierung von New South Wales (NSW) mit einem Budget von über 800 Mio. AUD (480 Mio. EUR) gestartet. Es umfasst die Entwicklung, Erprobung und Validierung der digitalen Systeme auf Teilen der T4-Linie von Sutherland nach Cronulla, die von Siemens geliefert wurde, und von Bondi Junction nach Erskineville, die von Alstom geliefert wurde. Die streckenseitigen Systeme bestehen aus Stellwerk und ETCS L2. Das TMS sitzt über den streckenseitigen Systemen und wird vom Betreiber ST zur Steuerung des Zugbetriebs verwendet. Darüber hinaus wird das DSP das feste Telekommunikationsnetz (FTN) für die Datenkommunikation aller Bahnanlagen in den Ausrüstungsräumen bereitstellen. Für ETCS L2 wird ebenfalls das Digital Train Radio System (DTRS) eingesetzt. Alle diese Teile werden vom Systemintegrator (SI) verantwortet, der die Systemintegration leiten wird.

Die staatliche Verkehrsbehörde TfNSW ist der Hauptkunde des TMS-Sydney-Projekts. Das TMS wird von ST, dem Betreiber des städtischen Eisenbahnnetzes von Sydney, betrieben werden. TfNSW hat einen SI unter Vertrag genommen, der für die gesamte Integration zwischen den DSP-Subsystemen TMS, Trackside und anderen verantwortlich ist. Die Hauptkundenbeziehung von Siemens wird von der Onshore-Einheit, Siemens Mobility Australia (SMO AU), gehalten, während die Entwicklung des TMS im Offshore-Application Development Centre in der Schweiz stattfindet. Das betriebliche Wissen und der Kern des TMS Dispatching Layers wurde von der Schweizerische Bundesbahnen AG (SBB) bereitgestellt.

2 TMS-Architektur mit Dispatching Layer und Signalling Layer

Das TMS besteht aus zwei Schichten. Zum einen der Dispatching Layer (DL), der die Fahrpläne dynamisch entsprechend den tatsächlichen Zugstandorten plant und dynamisch umplant. Dadurch wird eine schnellere Rückkehr zum Normalbetrieb nach Zwischenfällen und anderen Arten von Beeinträchtigungen erreicht. Der DL wird in Zukunft den Zugfluss mit ATO entsprechend der aktuellen Situa-

The DSP was started in 2018 with state funding from the New South Wales (NSW) Government with a budget of over 800 million AUD (480 million EUR), which involves developing, testing and validating the digital systems on parts of the T4 Line from Sutherland to Cronulla, delivered by Siemens, and from Bondi Junction to Erskineville, delivered by Alstom. The trackside systems consist of an interlocking and ETCS L2. The TMS sits above the trackside systems and will be used by the operator ST to control the train operations. Furthermore, the DSP will deliver a Fixed Telecommunication Network (FTN) for the data communication between all the rail equipment in the equipment rooms. The Digital Train Radio System (DTRS) will be deployed in order to enable the ETCS L2. All these parts are integrated by the System Integrator (SI), who will lead the system integration.

The state entity TfNSW is the main customer for the TMS Sydney project. The TMS will be operated by ST, which is the operator of the metropolitan railway network in Sydney. TfNSW has contracted an SI who is responsible for all the integration between the DSP TMS subsystem, trackside and others. Siemens' main customer relation is held by the Siemens Mobility Australia Onshore Unit (SMO AU), while the TMS is being developed in the offshore Application Development Centre in Switzerland. The operational knowledge and the TMS dispatching layer core are being supplied by the Swiss Federal Railways (SBB).

2 TMS architecture with the dispatching and signalling layers

The TMS has two layers. The dispatching layer (DL), which has to dynamically plan and re-plan the timetables according to the actual train runs. This ensures a faster return to normal operations after any incidents or other types of delays. The DL will optimise the train flow with ATO according to the current situation by adjusting the arrival and departure times. This

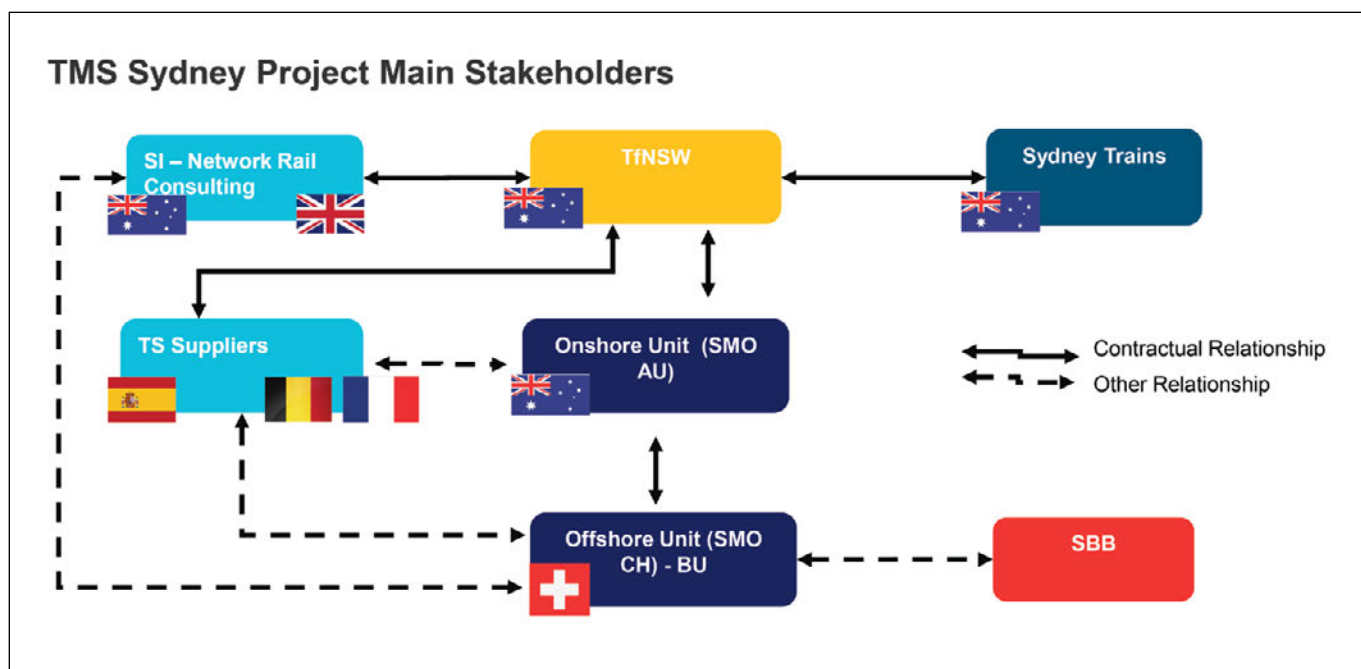


Bild 2: Anspruchsgruppen-Diagramm des TMS Sydney-Projektes mit den Hauptakteuren

Fig. 2: Stakeholder diagram of DSP TMS Sydney and its main stakeholders

on optimieren, indem er die Geschwindigkeiten anpasst und Kreuzungen verlegt. Dies macht den Fahrplan widerstandsfähiger gegen Störungen. Zum anderen werden mit dem Signalling Layer (SL) den Stellwerken Kommandos erteilt, um die Fahrstraßen durch die Zuglenkung (ARS) einzustellen. Signale, oder jetzt ETCS L2 Marker Boards (MB) und Weichen, werden automatisch gesteuert. Der Bediener kann Baustellen manuell über den SL verwalten, Gleissperren setzen und Baustellen planen. Der TMS DL verfügt über das netzweite Wissen über Fahrpläne und Zugstandorte. Der DL kann die Konfliktlösung mit dem dynamischen Fahrplan durchführen, um mehr Netzkapazität zu gewinnen, was die Gesamtfahrplanstabilität erhöht. Das TMS wird von Siemens Mobility Schweiz geliefert.

3 Rückblick auf die TMS-Entwicklungen und Erfolge

Die Entwicklung des TMS erfolgte in mehreren Versionen. Release 1 konzentrierte sich auf die SL-Funktionalität und die Schnittstelle zur Infrastruktur für die Cronulla Line. Release 2 konzentrierte sich auf die Schnittstelle zur Infrastruktur für die Eastern Suburbs Railway nach Bondi Junction. Release 3 umfasste den DL-Kern und die Schnittstellen zum Fahrplan-Planungssystem sowie die Schnittstelle zum Empfang von Zugpositionen aus dem bestehenden Leittechniksystem „Advanced Train Running and Information Control System“ ATRICS. Das Release 4 konzentrierte sich auf weitere Schnittstellen, wie z. B. für die Zugeigenschaften, Fahrpläne für den Güterverkehr und die Zusammenstellung von Güterzügen. Release 5, bei dem die Implementierung noch nicht begonnen hat, befasst sich mit der ATO-Funktionalität und deren Schnittstellen.

Die Entwicklung wurde vom SI geleitet und basierte auf einer Reihe sorgfältig ausgewählter Anforderungen. Die Anforderungen wurden dann auf die Teilsysteme aufgeteilt. Die Teilsysteme selbst stützten sich bei ihrer Entwicklung auf diese vorgegebenen Anforderungen. Als Werkzeug verwendete der SI die Jazz Suite einschließlich DOORS Next Generation (DNG), um die Verfolgung der Anforderungen zu ermöglichen. Die Matrizen zur Rückverfolgbarkeit der Anforderungen (RVTM) wurden zur Steuerung der Entwurfs- und Implementierungsphasen verwendet.

will make the timetable more resilient to any disruptions. The signalling layer (SL) will command the interlockings to set the routes using the Automatic Route Setter (ARS). The signals, or now the ETCS L2 Marker Boards (MB), and points are controlled automatically. The operator can manage construction sites manually via the SL, setting blocks and allowing trains into possessions. The TMS DL will have network-wide knowledge of the timetables and train locations. The DL can perform any conflict resolution with the dynamic timetable to gain more network capacity, which will increase any overall timetable stability. The TMS is supplied by Siemens Mobility Switzerland.

3 A retrospective on the TMS developments and achievements

The TMS has been developed in multiple releases. Release 1 was centred around the SL functionality and the trackside interface for the Cronulla line. Release 2 focused on the trackside interface for the Eastern Suburbs Railway to Bondi Junction. Release 3 included the DL core and the interfaces to the timetable planning system, as well as the interface to receive train locations from the existing TMS Advanced Train Running and ATRICS Information Control System. Release 4 focussed on further interfaces such as train characteristics, freight timetables and freight train compilation. Release 5, whose implementation has yet to start, is focussed on ATO functionality and the interfaces.

The development has been led by the SI and based on a set of carefully chosen requirements. The requirements were then split appointed to the subsystems. The subsystems themselves based their development on these given requirements. The SI chose the Jazz Suite, including DOORS Next Generation (DNG), as the tool to enable requirement tracing. Requirement traceability matrices were used to control the design and implementation phases.

Nach den erfolgreichen Werksabnahmetests (FAT) der Releases 1–4 wurden diese an das integrierte Testlabor des DSP-Projekts geliefert, um die realen Schnittstellen zu integrieren, bei welchen dies im FAT nicht möglich war. Das System wurde auch in der Produktionsumgebung installiert, aber vorerst nicht in Betrieb genommen, sodass Tests ab der Stellwerksebene, ETCS L2 und schließlich der TMS-Ebene durchgeführt werden konnten.

4 Spezifische Funktionalitäten für das Gesamtsystem einschließlich TMS

Jedes Projekt führt mehrere technische Neuerungen ein oder wählt aus den UNISIG-Spezifikationen einige Funktionalitäten aus. DSP hat dies auch getan. In den folgenden Abschnitten werden diese Neuerungen vorgestellt.

Kooperative Fahrstraßenrücknahme: Der Bediener kann die kooperative Fahrstraßenverkürzung auf dem L2 Marker Board (MB) auslösen. Der Befehl wird an das Radio Block Centre (RBC) weitergeleitet, das ihn an die ETCS L2 On Board Unit (OBU) weiterleitet, die dann entscheidet, ob sie noch vor dem MB anhalten kann oder nicht. Wenn die OBU vor dem MB halten kann, wird die nachfolgende Fahrstraße aufgelöst. Lehnt die OBU die kooperative Rücknahme ab, behält das MB den Signalaspekt bei, und die Fahrstraße bleibt festgelegt, und die OBU setzt die Fahrt fort.

Nothaltebereich (ESA): Der Bediener kann alle Züge innerhalb des vorkonfigurierten Nothaltebereichs anhalten und verhindern, dass weitere Züge in den Nothaltebereich einfahren. Die Bereiche sind im Stellwerk so vorkonfiguriert, dass ein linkes oder rechtes Gleis der Linie oder eine ganze Station angehalten wird, oder der Nothaltebereich wird für einen Gesamtbereich des gesamten Stellwerks gesetzt. Diese Bereiche können einzeln geschaltet werden, es ist auch möglich, sie übereinander zu schalten, wobei der größere Bereich immer Vorrang hat.

Änderung der Zugnummer: Der TMS-Bediener oder das TMS kann die Zugnummer, auch bekannt als NID_OPERATIONAL aus UNISIG Subset-026, die auf der OBU verwendet wird, ändern. Dieser Prozess vereinfacht und beschleunigt die Dateneingabe des Triebfahrzeugführers. Zwischen dem RBC und der OBU wird das Paket 140 „Trainrunningnumber vom RBC“ verwendet, das die neue NID_OPERATIONAL enthält. Dies ist nützlich, wenn sich der Zug in seiner Endstation befindet und die Richtung wechselt, dann sendet das TMS automatisch die neue Zugnummer gemäß Fahrplan.

Alphanumerische Zugnummern: Der Großraum Sydney verwendet, wie andere australische Städte auch, ein 4- bis 5-stelliges Zugnummernsystem. Mit diesem System werden Ausgangs- und Zielorte sowie Betreiber schon immer kodiert. Im städtischen Netz wird die Fahrt einer bestimmten Zugkomposition mit einem Buchstaben gekennzeichnet, der mit A beginnt und im Laufe des Tages durch das Alphabet aufsteigt. Buchstaben in der Zugnummer werden auch in anderen Teilen der Welt verwendet, für das DSP-System mussten sie definitiv berücksichtigt werden. Ein spezieller Algorithmus, nach seinem Erfinder „Cutler-Algorithmus“ genannt, wird verwendet, um die 4- oder 5-stellige „Zugnummer“ in ein 8-stelliges Zahlenformat zu übersetzen, ein Format, das mittels dem Subset-26 und an die OBU gesendet wird. Die OBU verfügt über die Umkehrfunktion und kann die anfängliche 4- bis 5-stellige Zugnummer mit Buchstaben dann anzeigen.

GeoRedundanz: Das System ist so konzipiert, dass einer der beiden Stellwerksräume ausfallen kann und das TMS weiterhin funktioniert. Außerdem sind die Komponenten im Stellwerksraum redundant ausgelegt, um den Ausfall einer einzelnen Komponente zu überbrücken.

After the successful factory acceptance tests for Releases 1–4, they were delivered to the DSP project’s Integrated Test Laboratory for integration into the real interfaces, where this could not be achieved in the Factory Acceptance Test (FAT). The system was also installed in the production environment, but not set as live, so that tests starting from the interlocking level, ETCS L2 and finally the TMS level could be executed.

4 Specific functionality for the overall system, including TMS

Every project introduces several technical innovations or cherry picks from the UNISIG specifications. The DSP also did this. These “innovations” are introduced in the following paragraphs.

Cancel route by cooperative shortening: the operator can command a cooperative route shortening on the L2 Marker Board (MB). This will set a whole message flow in action. The command is forwarded to the Radio Block Centre (RBC) and the RBC then forwards it to the ETCS L2 On Board Unit (OBU). The OBU will decide whether or not it can stop in front of the MB. If the OBU can stop in front of the MB, it switches to a stop aspect and the route after it is cancelled. If the OBU rejects the cooperative shortening, the MB will keep the proceed aspect and the route will remain set while the OBU continues the journey.

Emergency Stop Area (ESA): the operator can stop all the trains inside the preconfigured ESA and prevent any other train from entering the ESA. The areas are preconfigured in the interlocking in a way to stop a down or an up-track or stop stations or the ESA is configured for the overall area of the whole interlocking. These areas can be activated on top of each other. It is also possible to activate them one over the other, while the bigger area will always take precedence.

Change train running number: The TMS operator or the TMS can change the train describer/train running number (also known as the NID_OPERATIONAL from UNISIG Subset-026) used on the OBU. This process will make data entry simpler and quicker. Packet 140 “Train running number from RBC” containing the new NID_OPERATIONAL is used between the RBC and the OBU. This comes in very handy when the train is at the buffer stop of its terminal station and changes direction. Then, the TMS will automatically send the train running number according to the timetable.

Alphanumeric train describers: like other Australian cities, metropolitan Sydney uses a 4- to 5-character train numbering system. This system has long codified the origins and destinations, as well as the operators or the up and down track. A trip undertaken by a specific train in the metropolitan network is marked with a letter, starting with an A and incrementing through the alphabet during the day. Letters may or may not be used in other parts of the world, but the DSP system had to definitively account for them. A special algorithm, named the “Cutler-Algorithm” after its inventor, was used to translate the 4- or 5-character alphanumeric train describer into an 8-digit number (a format known by Subset-26) to be sent to the OBU. The OBU has an inversion function and can display the initial 4- to 5-character train describer.

GeoRedundancy: the system is designed to allow one of two equipment rooms to fail and the TMS to keep working. One equipment room also has a redundancy to overcome a single component failure.

The WAGO logo is displayed in a bold, green, sans-serif font. The letter 'W' is stylized with a diagonal line through it, suggesting motion or connectivity. The logo is positioned in the upper left corner of the image, overlaid on the background of a high-speed train.A high-speed train, likely a Shinkansen, is shown in motion, blurred to convey speed. The train is white with a prominent green stripe running along its side. The background shows overhead power lines and a signal light with two red lights illuminated. The overall scene is set against a clear sky.

EMPOWERING RAILWAY BUSINESS

Ganz gleich, ob in der Signaltechnik, der Infrastruktur oder im rollenden Verkehr – mit WAGO haben Sie einen erfahrenen und zuverlässigen Partner an Ihrer Seite: von der elektrischen Anschluss-technik über Interface-Module bis hin zur Automatisierungslösung – wir bieten Ihnen alles aus einer Hand und das weltweit.

www.wago.com/de/bahntechnik

5 Funktionsweise des DL

Der DL hat vier Hauptansichten. Jede Ansicht hat einen anderen Zweck. Im folgenden Abschnitt werden die verschiedenen Ansichten im Detail erläutert. Die wichtigste Ansicht ist das Zeit-Weg-Linien-Diagramm (ZWL). Seit seiner Erfindung vor über 180 Jahren beschreiben ZWL, wann ein Zug wo sein wird, und stellen eine zeitliche und örtliche Korrelation her. Alles oberhalb der Jetzt-Linie stellt die Vergangenheit dar, und alles unterhalb der Jetzt-Linie ist Zukunft. Der stark vereinfachte Graph enthält im Hintergrund ein Zugprognosesystem, das sich auf Charakteristika der Züge, die sogenannten Zugformationen, bezieht. Die Topologie stützt sich auf eine mit sehr genauen Daten vorbereitete Strecke, inklusive Höchstgeschwindigkeiten, Radien und Steigungen. Dadurch ist das TMS in der Lage, Zugbewegungen genau zu prognostizieren und Konflikte zu erkennen, wenn ein Gleis entweder mit einem Zug belegt ist oder durch eine Fahrstraße für einen Zug reserviert ist.

Das TMS bietet dem Bediener Optionen zur Lösung des Konflikts. Die wichtigsten Befehle für den Betreiber im ZWL sind die Entscheidung über Konflikte, die Verspätung eines Zuges in einem Bahnhof und die Festlegung einer bestimmten Zugfolge in einem Bahnhof oder an einer Weiche. Etwaige Einschränkungen werden im Zugdiagramm als schraffierte Bereiche angezeigt. Gleise, die nicht verfügbar sind, führen ebenfalls zu einem Konflikt. Wenn temporäre Langsamfahrstellen (TSR) angewendet werden, werden diese ebenfalls auch bei der Zugprognose berücksichtigt. Kommandos, die die Signalisierung betreffen, werden vom DL automatisch ausgelöst und direkt an den SL weitergeleitet. Der Automatic Route Setter (ARS) führt die Befehle des Bedieners ohne weitere manuelle Eingriffe aus, um z. B. Fahrstraßen auf das geänderte Gleis einzustellen.

In der Infrastrukturübersicht wird die Zugtrasse einschließlich etwaiger Konfliktpunkte von Zügen angezeigt. Im Falle eines Konflikts kann der Bediener die Trasse des Zugs planen. Diese Darstellung zeigt auch die Zeitpunkte auf der Trasse für wichtige Gleisabschnitte an. Die Bahnhofübersicht zeigt ausschließlich die Bahnhofsgleise auf einer Zeitskala an, sodass der Bediener besser erkennen kann, wann ein Bahnhofsgleis belegt ist. Der Bediener kann einen Zug in der Bahnhofübersicht leicht auf ein anderes Bahnhofsgleis umplanen. Die Bahnhofübersicht ist auch die Ansicht, in der Züge zusammengeführt oder aufgeteilt werden können oder in der ein Fahrzeug über Nacht abgestellt werden kann.

Der Abweichungsradar listet alle Züge nach ihrer Verspätung auf. Der Bediener kann die Züge sortieren und filtern, z. B. nach Personenzügen und nach der größten Verspätung. Dann kann er sich um die am meisten verspäteten Züge kümmern, als Befehl gibt es die Funktion „Haltestelle überspringen“, um Zeit zu gewinnen, was dann eher einem Metrosystem entspricht.

6 Integration auf mehreren Ebenen

Das DSP hat mehrere Subsysteme zu einem Gesamtsystem integriert. Für das DSP bedeutet Integration viel mehr als nur die technische Integration. Technische Integration bedeutet z. B. die Verbindung eines TMS mit Stellwerken verschiedener Hersteller. Beachtet werden alle Befehle, die an das Stellwerk gesendet werden, und die Meldungen, die an das TMS zurückgesendet werden. Diese Schnittstellen befinden sich innerhalb des DSP-Systems, und es gibt auch die Integration des DSP in das bestehende TfNSW/ST-Ökosystem der Systeme. Ein Beispiel dafür ist das Fahrplan-Planungs-System (TPS), das den Fahrplan an das TMS liefert. Syntaktik und Semantik müssen mit den Erwartungen übereinstimmen, dass der Fahrplan in das TMS geladen werden kann.

5 The DL functionality

The DL has four main views. Every view has a different purpose. The different views are explained in detail in the following paragraph. The most important view is the train graph. Since their invention over 180 years ago, train graphs have described when a train will be where, thereby providing a correlation in time and space. Everything above the now-line is the past and everything under the now-line is the future. The significantly simplified graph contains a train forecast system in the back, which relies on the characteristics of the trains, the so-called train consist. The topology relies on a very accurately data-prepped track, including, but not limited to, maximum speeds, curvature and gradient. This puts the TMS in a position to precisely forecast the train movements and recognise any conflicts where the track is either occupied with a train or has been reserved for a train by a train route.

The TMS provides the operator with options for resolving conflicts. The main commands for the operator in the train graph include deciding conflicts, delaying a train in a station and setting a specific train sequence in a station. Any restrictions are displayed in the train graph as hatched areas. Unavailable tracks will also create a conflict. If temporary speed restrictions have been applied, they are, of course, also considered in the train forecast. Internal TMS commands for all the operator commands regarding signalling are created and directly forwarded to the SL. The Automatic Route Setter (ARS) will execute the commands from the operator without any further manual interaction from the operator, for example setting routes on a changed track.

The train path is shown on the infrastructure overview, including any points of conflict between the trains, if they exist. The operator can plan the train's path in the case of a conflict. This representation also displays the moments in time on the train's path for important track sections. The station overview only displays the station tracks on a time scale so that the operator can better understand when a station track is occupied. The operator can easily switch a train to another station track in the station overview. The station overview is also the view used when planning the joining or splitting of trains or creating a stabled vehicle overnight.

The deviation radar lists all the trains according to their delays. The operator can sort and filter the trains, for example by passenger trains and or by the biggest delay. The operator can then take care of the most delayed trains, as there is a command to skip the stop functionality in order to gain time.

6 Integration on multiple levels

The DSP has integrated multiple subsystems into a single system. However, integration means a lot more for the DSP than simply the very well know technical integration. From the point of view of technical integration, for example, this means connecting a TMS to interlockings from multiple vendors. The commands sent to the interlocking and the indications sent back to the TMS are taken into account. These interfaces are within the DSP system, but there is also integration from the DSP into the existing TfNSW/ST ecosystem of systems. One such example is the Timetable Planning System (TPS), which must provide the timetable to the TMS. The syntactics and semantics need to match the expectations, so that the timetable can be loaded into the TMS.

When it comes to business integration, business rules can be impacted, so that the current methods of operation must be changed. The introduction of ETCS L2, TMS and ATO especially mean

Bei der Betriebsintegration können die betrieblichen Regeln betroffen sein, sodass die Prozesse geändert werden müssen. Speziell mit der Einführung von ETCS L2, TMS und ATO ist es wahrscheinlich, dass die Netzregeln geändert werden müssen. TfNSW und ST haben einen ganzheitlichen Ansatz gewählt, um diese Integration und Änderungen durch ein eigens zu diesem Zweck geschaffenes Transformationsbüro zu begleiten. Die Entwicklung der Regeln wird in Zusammenarbeit mit den Betreibern und der Regulierungsbehörde erfolgen, um ein breiteres Spektrum an Möglichkeiten zur Umgestaltung der Arbeitsweise der Betreiber und der Erbringung von Dienstleistungen zu schaffen. Die Verwaltung der technischen Integration wird von TfNSW geleitet, wobei ST bei Bedarf Unterstützung leistet, während die Verwaltung der betrieblichen Integration in der gemeinsamen Verantwortung von TfNSW und ST liegt.

Für das Änderungsmanagement gilt als wichtigstes Grundprinzip, dass es eine gemeinsame Verantwortung gibt, um eine effektive Zusammenarbeit zwischen allen Projektteams, die an der Einführung von ETCS L2 beteiligt sind, und den betroffenen Geschäftsbereichen zu ermöglichen.

Im Rahmen dieser Zusammenarbeit werden die betroffenen Mitarbeiter nach Möglichkeit direkt in die Systementwicklung und die Implementierungsplanung einbezogen, da dies nicht nur zu einer besseren Lösung, sondern auch zu einer stärkeren internen Unterstützung des Wandels führen wird. In Anbetracht der Tatsache, dass eine Vielzahl von Mitarbeitern betroffen sein wird, wurde das Veränderungsprogramm auch so konzipiert, dass die Mitarbeiter ETCS L2 im Vorfeld der Implementierung „erfahren“ können, was in der Schulumgebung des Integrations- und Testlabors (ITL) möglich ist. Um diesen Kulturwandel zu erreichen, wird ein kooperativer Ansatz verfolgt, und es ist ein eingebettetes Veränderungsmodell geplant, bei dem Veränderungsmanager in den wichtigsten Geschäftsbereichen mit dem Managementteam und den Lieferanten zusammenarbeiten, um die notwendigen Analysen und Vorbereitungsmaßnahmen durchzuführen, die im Vorfeld der Einführung erforderlich sind.

Während die unmittelbaren Veränderungen, die sich aus der Einführung der neuen Systeme ergeben, im Rahmen des Projektumfangs verwaltet werden, wird die Technologie eine breitere Palette von Möglichkeiten bieten, die Art und Weise, wie die Betriebsagenturen arbeiten und Dienstleistungen erbringen, zu verändern. Es wird an den Betreibern und dem Verkehrscluster im weiteren Sinne liegen, diese Möglichkeiten zu nutzen.

Darüber hinaus plant das DSP angesichts der weitreichenden Auswirkungen im gesamten TfNSW-Cluster, sich in bestehende Mitarbeiternetzwerke einzuklinken, die bereits bestehenden vertrauensvollen Beziehungen zu nutzen und die bestehenden sozialen Strukturen anzuzapfen, wobei sich die projektbezogene Kommunikation auf die Vorteile des Programms bei der Gestaltung der Zukunft der Eisenbahn konzentriert.

Aus der Perspektive des Anlagenmanagements bieten sich Möglichkeiten zur Entwicklung und Umsetzung verbesserter Prognoseinstrumente für die Netzplanung und -instandhaltung, um die Verfügbarkeit des Netzes für den Betrieb zu erhöhen und die Bedürfnisse der Kunden zu erfüllen. Es besteht auch die Möglichkeit, die Strategien für das Anlagenmanagement im Allgemeinen zu überdenken.

Grundsätzlich bieten moderne Technologien wie ETCS L2 weitere Möglichkeiten zur Untersuchung alternativer Konzepte für das Lebenszyklusmanagement, z. B. die Bereitstellung von Systemen als Dienstleistung und nicht als Vermögenswert, was sich langfristig als kostengünstiger erweisen könnte.

that it is probable that the network rules will have to be changed. TfNSW and ST have taken a holistic approach to the performance of this integration, whereby any changes will be implemented by a transformation office created solely for this purpose. The rules will be developed in a collaborative way with the operating agencies and the regulator in order to deliver a broader set of opportunities to transform the way the operating agencies work and deliver services. The management of the technical integration changes will be led by TfNSW with support from ST as required, whereas the management of the business change will be a shared responsibility between TfNSW and ST.

The key underpinning principle for the change management associated with the introduction of ETCS L2 in Sydney involves the fact that there is shared responsibility for facilitating effective collaboration between any project team associated with the implementation of ETCS L2 and the impacted business units.

This collaboration process will directly involve the impacted staff in system design and implementation planning wherever possible, as this will not only lead to an improved solution, but also to an increase in the levels of internal change advocacy. Given that a diverse and operational workforce will be involved, the change program has also been designed to allow staff to “experience” ETCS L2 in the lead up to implementation, which is possible in the training environment at the Integration and Test Laboratory (ITL).

A collaborative approach will be used to achieve this culture change and an embedded change model is planned whereby change managers will work within the key business areas alongside the management team and SMEs to undertake the necessary analysis and business readiness activities that will be required leading up to the implementation.

While the direct changes that arise from the implementation of the new systems will be managed as part of the project scope, the technology will deliver a broader set of opportunities to transform the way the operating agencies work and deliver services. It will be up to the operating agencies and the wider transport cluster to seize these opportunities.

In addition, the breadth of impact across the TfNSW cluster of agencies means that the DSP plans to hook into existing staff networks, leverage the trusted relationships that are already in place and tap into any existing social structures with project-related messaging focusing on the benefits of the program in shaping the future of the railway.

From an asset management perspective, there are opportunities to develop and implement improved predictive tools for network planning and maintenance in order to increase the availability of the network for operations and to meet customer needs. There is also an opportunity to re-visit the asset management strategies more generally.

More fundamentally, modern technologies such as ETCS L2 present further opportunities to investigate alternative lifecycle management approaches, such as the provision of systems as a “service” rather than an “asset”, which may prove more cost-effective in the long-term.

7 Interfaces and the interface management process

Good interface management is a key success factor for projects like the DSP. In the DSP, the responsibility for the interface management resides within the SI, who is responsible for the technical management of the functional and physical interfaces as the interface coordinator. An interface lead and an interface participant are defined for each interface. The interface lead is respon-

7 Schnittstellen und Schnittstellenmanagementprozess

Ein gutes Schnittstellenmanagement ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor für Projekte wie das DSP. Im DSP liegt die Verantwortung für das Schnittstellenmanagement beim SI, der als Schnittstellenkoordinator für das technische Management der funktionalen und physikalischen Schnittstellen zuständig ist. Für jede Schnittstelle ist ein Schnittstellenverantwortlicher und ein Schnittstellenteilnehmer definiert. Der Schnittstellenverantwortliche ist für das Design, die Implementierung und das Testen der Schnittstelle verantwortlich. Der Schnittstellenteilnehmer unterstützt den Lead bei diesen Tätigkeiten. Die relevanten Informationen über den Entwurf einer physischen oder funktionalen Schnittstelle werden in einem Schnittstellenkontrolldokument (ICD) festgehalten, das vom Verantwortlichen verfasst, vom Teilnehmer überprüft und vom Schnittstellenkoordinator abgezeichnet wird. Der Schnittstellentestplan enthält die Informationen, wie die Schnittstelle zu verifizieren ist, während der Schnittstellentestbericht die Ergebnisse der Tests enthält. Beide Dokumente werden wiederum von dem für die Schnittstelle Verantwortlichen und dem Teilnehmer unterzeichnet.

Der SI als Koordinator führt ein Register über alle Schnittstellen und deren Status. Aktuell sind dies etwa 60 wichtige Schnittstellen für das gesamte DSP-Projekt. Z. B. für das TMS: TMS ist federführend für die Hauptschnittstellen:

- TMS-Trackside Systems zur Steuerung der Stellwerke und RBC der einzelnen Hersteller,
- TMS-CommonInterfaceBus (CIB), über den Fahrplaninformationen mit den anderen Systemen im Ökosystem ausgetauscht werden.

Das TMS verfügt über eine einheitliche grafische Darstellung für beide Stellwerke der Strecke, während das zugrunde liegende Protokoll, das das TMS mit der Strecke verbindet, nicht dasselbe ist. Die Vorteile für den Betreiber bestehen in einem harmonisierten Betrieb aller an das TMS angeschlossenen Systeme, wodurch die betrieblichen Unterschiede minimiert werden. Jede Schnittstelle enthält Protokolle für Befehle und Meldungen für Stellwerke und RBC. Die Schnittstelle zum CIB ist komplexer, da als Technologie für den CIB Event-Streaming-Mechanismen von Kafka (Apache) verwendet werden. Unternehmen von Adidas bis Zalando setzen diese Technologie bereits aus Gründen der hohen Verfügbarkeit ein. Daten, wie Fahrpläne, werden empfangen und bereitgestellt, aktualisiert und prognostiziert entsprechend der Zugstandorte, empfangene Züge bestehen aus Formationen, um bessere Prognosen zu erstellen. Es werden Formationen importiert, um Auswirkungen zu sehen und Konflikte zu berechnen, der Güterfahrplan sowie die Güterzüge werden übernommen.

8 Aktueller Zustand und weitere Schritte

Im Januar 2024 konnte die TMS-Entwicklungsphase mit dem wichtigen Meilenstein des Factory Acceptance Test (FAT) erfolgreich abgeschlossen werden. Eine Delegation von Kundenvertretern war anwesend bei den Tests des DL, Release 4, in der Schweiz. Dies erfolgte nach mehr als drei Jahren Konfiguration und Engineering. Dies bedeutet, dass der Kunde TfNSW das gesamte System vollständig akzeptiert hat. Das TMS wurde dann im Integrations- und Testlabor (ITL) des Kunden und zur Produktion geliefert, ist bis jetzt noch nicht in Betrieb, wird aber für die weitere Integration in das Netz und für Tests mit realen Zügen bereits verwendet. Das Programm sieht eine Inbetriebnahme bis 2025 vor. ■

sible for the design, implantation and testing of the interface. The interface participant supports the lead in these activities. The relevant information on the design of a physical or functional interface is stored in an interface control document (ICD), which is written by the lead, reviewed by the participant and signed off by the interface coordinator. The interface test plan will include information on how to evaluate the interface, while the interface test report will hold the results of the testing. Both documents will be signed off by the interface lead and the participant.

As the coordinator, the SI holds a register of all the interfaces and their status. The current status is around major 60 interfaces for the overall DSP project. As an example for the TMS, the TMS is in charge of the following major interfaces:

- the TMS-trackside systems to control the interlocking and the RBC from each manufacturer,
- the TMS-CommonInterfaceBus (CIB), where the timetabling information is exchanged to and from the other systems in the ecosystem.

The TMS has a unified graphical representation for both sides of the track, while the underlying protocol connecting the TMS and trackside is not the same. The benefits for the operator lie in the harmonised operations across the systems connected to the TMS, thereby minimising the operational differences. Each interface contains protocols for commands and indications for the interlocking and RBC. The interface to the CIB is more complex, as event streaming mechanisms from Kafka (Apache) are used for the CIB. Companies from Adidas to Zalando are already using this technology thanks to its ingenious high availability. Data such as timetables is received and provided, updated and forecasted according to train locations, while received train consists of the train Composition to create better forecasts. Consists are imported to see impacts and calculate conflicts, while the freight timetable and the freight train compositions are received.

8 The current state and further steps

In January 2024, the TMS development phase was successfully completed with the major milestone of the Factory Acceptance Test (FAT). A delegation of customer representatives witnessed the tests of the DL in Switzerland after more than three years of configuration and engineering. This means that the customer, TfNSW, has fully accepted the entire system. The TMS was then deployed in the customer's Integration and Test Laboratory (ITL) and on the real system, which is not currently live, but will be used for further integration into the real network and testing with real trains. The program plans to enter into service in the mid-2020s. ■

LITERATUR | LITERATURE

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Sydney_Trains, 08.04.24, 13:15
- [2] <https://www.transport.nsw.gov.au/projects/more-trains-more-services>, 08.04.2024, 13:30
- [3] <https://www.transport.nsw.gov.au/projects/current-projects/digital-systems-program>, 08.04.2024 14:00

AUTOR | AUTHOR

Dipl. Ing. FH, FIRSE Christian Glättli
 Integration & Test Manager for TMS Sydney
 Siemens Mobility AG
 Anschrift / Address: Hammerweg 1, CH-8304 Wallisellen
 E-Mail: christian.glaettli@siemens.com

Hin zu einem innovativen Eisenbahnbetrieb mit ETCS Hybrid Train Detection

Heading forwards to innovative railway operations with ETCS Hybrid Train Detection

Gregor Theeg | Craig McLellan | Heiko Saalbach | Frank Wend | Martin Hetzer | Lorenz Giese | Martin Haase

ETCS Level 2 – Hybrid Train Detection (ETCS HTD), früher auch bekannt als ETCS Hybrid Level 3, verfolgt das Ziel, die Streckenkapazität im Personen- und Güterverkehr zu erhöhen und dabei die streckenseitige Gleisfreimeldung zu reduzieren. Sowohl Züge mit als auch ohne Integritätsüberwachung können im Mischbetrieb auf den mit HTD ausgerüsteten Strecken fahren. Basierend auf dem aktuellen Stand der Standardisierung und mit Blick auf aktuelle Projekte haben Siemens Mobility GmbH und Informatik Consulting Systems GmbH (ICS) eine Sicherheitsstudie durchgeführt, um HTD-spezifische Gefährdungen zu identifizieren und zu quantifizieren und um spezielle Herausforderungen der unterschiedlichen Lösungsvarianten zu bewältigen. Dies beinhaltet insbesondere die Handhabung von Bestandsfahrzeugen und die Strategien zur Nachrüstung bestehender Strecken.

1 Zweck und Gegenstand von Hybrid Train Detection

Herkömmliche Zugortungssysteme sind zuverlässig; jedoch beeinträchtigen lange Gleisfreimeldeabschnitte die Streckenkapazität.

ETCS Level 2 – Hybrid Train Detection (ETCS HTD), in der Vergangenheit auch ETCS Hybrid Level 3 genannt, ist eine mögliche Umsetzung von ETCS Level 2 nach Baseline 4, die einen weiteren Schritt hin zur Erhöhung der Streckenkapazität im Personen- und Güterverkehr und Reduzierung der Streckenausrüstung ermöglicht. HDT-Systeme nutzen eine hybride Form aus konventioneller Gleisfreimeldung mittels Gleisstromkreisen und Achszählern einerseits und zugbasierter Zugschlusserkennung und Positionsmeldung andererseits. Um die Funktionalität der Zugererkennung zu erweitern, nutzt HTD die Positionsmeldungen der Fahrzeuggeräte, um daraus zu ermitteln, ob Gleisabschnitte besetzt sind oder freigemeldet werden können.

Die festen Blockabschnitte der streckenseitigen Zugererkennung (Trackside Train Detection – TTD) werden in virtuelle Unterabschnitte (Virtual Sub-Sections – VSS) unterteilt, siehe Bild 1. Unter Nutzung der bestehenden Gleisinfrastruktur ermöglicht dies den Zugbetrieb mit deutlich kürzerer Zugfolge, ohne dabei die Streckenausrüstung zu erhöhen. Zu diesem Zweck sendet die ETCS-Fahrzeugeinrichtung eine erweiterte Positionsmeldung an die ETCS-Streckenzentrale (Radio Block Centre – RBC). Basierend auf erhaltenen Informationen aus externen Quellen über Zuglänge und Zugintegrität wird die Confirmed Train Length zur Verfügung gestellt, welche die Zugintegrität beinhaltet [1]. Dies geht einher mit einer teilweisen Verlagerung von Verantwortung vom Infrastrukturbetreiber zum Fahrzeugbetreiber, da die Zugintegrität

ETCS Level 2 – Hybrid Train Detection (ETCS HTD), formerly known as ETCS Hybrid Level 3 will increase the line capacity for passenger and freight transport and reduce trackside equipment. Both new trains with integrity monitoring capabilities and older trains without can operate on HTD lines in mixed traffic. Siemens Mobility GmbH and Informatik Consulting Systems GmbH (ICS) have conducted a safety study based on the current state of standardisation and in light of the projects in the pipeline in order to identify any HTD-specific hazardous scenarios and quantify the hazard rates, as well as to reveal and eliminate any challenges from the specific solution variants. This particularly includes the handling of the existing vehicles and the retrofitting strategy.

1 The purpose and scope of Hybrid Train Detection

While reliable, traditional train detection systems do have their limitations and can constrain line capacity due to the length of the physical train detection sections.

ETCS Level 2 – Hybrid Train Detection (ETCS HTD), also previously called ETCS Hybrid Level 3, is one possible implementation of ETCS Level 2 (Baseline 4) that enables a further step towards increasing the line capacity for passenger and freight transport and reducing trackside equipment. It provides a hybrid form for the conventional trackside train detection performed by track circuits and axle counters on the one hand and train-based rear end detection and position reporting on the other. HTD will use the position report from the on-board equipment to evaluate whether the track sections are occupied or can be released in order to enhance the train detection functionality.

The fixed block sections of conventional trackside train detection (TTD) are further subdivided into virtual sub-sections (VSS); see fig. 1. This enables train operations with a significantly shorter headway without increasing the trackside equipment by using the existing infrastructure. The ETCS on-board equipment sends an extended position report to the Radio Block Centre (RBC) for this purpose. The Confirmed Train Length is provided based on the information received from external sources on the train's length and integrity, thereby indicating the train integrity confirmation [1]. This is therefore accompanied by the transfer of responsibility from the infrastructure manager to the railway undertaking, as the train integrity monitoring information no longer comes exclusively from the trackside equipment, but is also based on the on-board functions [6].

However, TTD systems implemented using axle counters or track circuits will continue to be used for trains that are not equipped with integrity monitoring, in fallback situations or to supervise critical

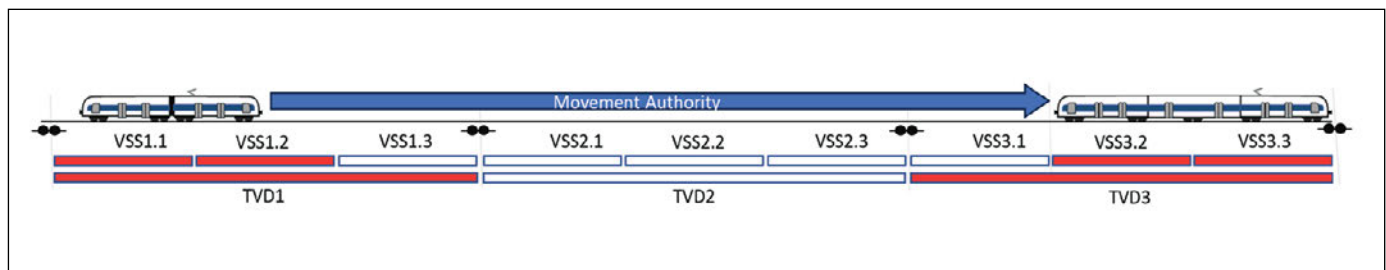


Bild 1: Grundprinzip von Hybrid Train Detection

Fig. 1: The basic principle behind Hybrid Train Detection

Quelle / Source: Siemens

ritätsinformation nicht mehr ausschließlich von der Infrastruktur kommt, sondern auch auf fahrzeugseitigen Funktionen basiert [6].

Dennoch werden TTD wie Achszähler und Gleisstromkreise auch weiterhin verwendet für nicht mit Zugintegritätsprüfung ausgerüstete Züge, in der Rückfallebene oder um kritische Abschnitte wie Weichen, Nebengleise, Bahnübergänge, bewegliche Brücken und andere kritische Punkte zu überwachen.

Dies dient dazu:

- die streckenseitige Ausrüstung zu reduzieren, verglichen mit einer Vollausrüstung mit streckenseitiger Gleisfreimeldung
- die Leistungsfähigkeit zu erhöhen durch zusätzliche virtuelle Unterabschnitte
- den Betrieb mittels streckenseitiger Gleisfreimeldung aufrecht zu erhalten, wenn Zugposition und -integrität nicht gemeldet werden können.

2 Stand der Standardisierung (CCS TSI 2023)

Eine Aktualisierung der Control-Command and Signalling - Technical Specification for Interoperability (CCS-TSI), welche mehrere Change Requests (CRs) umsetzt, trat im September 2023 in Kraft. Mehrere dieser CRs wurden getrieben von dem steigenden Bedarf nach Lösungen wie HTD.

Die folgenden Abschnitte fassen kurz diejenigen CRs zusammen, die in der CCS TSI 2023 umgesetzt wurden und die für HTD-Anwendungen am bedeutsamsten sind.

2.1 Change Request 1342: Unpraktisches Nebeneinander der ETCS Level 2 und 3

CRs1342 wurde eröffnet wegen einiger Inkonsistenzen zwischen ETCS Level 2 und Level 3, wie sie in früheren Versionen der ETCS Systemanforderungsspezifikation (Subset-026) [1] definiert waren. Bei Betrachtung streckenseitiger Anwendungen wie HTD, die sowohl Züge mit als auch ohne Zugintegritätsprüfung bedienen können, war in den bestehenden Definitionen unklar, ob diese Strecken Level 2, Level 3 oder beiden zuzuordnen sind.

CRs1342 löste diese Zweideutigkeit letztendlich durch Löschung des Level 3 aus den ETCS-Spezifikationen bei gleichzeitiger Integration der Level-3-Funktionen in den Level 2. Das heißt, dass alle funkbasierten ETCS-Anwendungen als Level 2 eingeordnet werden, wobei es eine Option der streckenseitigen Implementierung ist, ob die Möglichkeit zur fahrzeugseitigen Zugintegritätsprüfung genutzt wird oder nicht.

Aus fahrzeugseitiger Sicht ist die Umsetzung der Zugintegritätsüberwachung (Train Integrity Monitoring System – TIMS) in Level 2 optional, aber der Infrastrukturbetreiber kann sie durch Festlegung entsprechender Streckenzugangskriterien im Infrastrukturregister (Register of Infrastructure – RINF) vorschreiben.

sections such as points, sidings, level crossings, movable bridges and other locations that are to be protected.

This approach aims to:

- reduce the trackside equipment compared with full equipment with TTD;
- improve performance by means of the virtual spacing of the new or existing track vacancy detection (TVD) sections;
- maintain operations with trackside equipment when the position and train integrity cannot be reported.

2 The state of the standardisation (CCS TSI 2023)

An update of the Control-Command and Signalling - Technical Specification for Interoperability (CCS-TSI) came into effect in September 2023 and implemented several change requests (CR) in the ETCS technical specifications. Several of these CR have been driven by the increasing demand for solutions such as HTD.

The following sections briefly summarise the CR implemented in CCS TSI 2023 that have the most relevance to HTD applications.

2.1 Change Request 1342: the impractical coexistence between ETCS Level 2 and Level 3

CR1342 was brought due to some inconsistencies in the definitions of ETCS Levels 2 and 3, as defined in previous versions of the ETCS System Requirements Specification (Subset-026) [1]. When considering trackside applications such as HTD, which can host trains both with and without integrity monitoring capabilities, it was not clear from the existing definitions whether such lines should be classed as Level 2, Level 3 or perhaps as a mixed level area.

CR1342 ultimately resolved these ambiguities by removing Level 3 from the ETCS specifications with the Level 3 functionality being incorporated into Level 2. This means that all radio-based ETCS applications will now be categorised as Level 2, whereby the trackside implementation has the option of using or not using the train integrity reports from the ETCS on-board equipment.

From the on-board point of view, the implementation of a train integrity monitoring system (TIMS) is optional in Level 2, but the infrastructure manager has the option of mandating its implementation by defining a line access condition in the Register of Infrastructure (RINF).

As a result of the removal of Level 3 from the ETCS specifications, the ERTMS Users Group has renamed the Hybrid Level 3 concept HDT.

2.2 Change Request 940: the minimum safe rear end position and position reporting ambiguities

CR940 provided a stronger basis for the deployment of interoperable HTD solutions by clarifying how the train integrity status is managed by the ETCS on-board equipment. The CR solution has estab-

Im Ergebnis der Streichung des Level 3 aus den ETCS-Spezifikationen benannte die ERTMS User Group das Hybrid Level 3 Konzept um in HDT.

2.2 Change Request 940: Zweideutigkeit der Minimum Safe Rear End Position und der Positionsmeldungen

CRs940 bietet eine stärkere Basis für die Entwicklung interoperabler HTD-Lösungen, indem klargestellt wurde, wie der Status der Zugintegrität seitens der ETCS-Fahrzeugeinrichtung zu verwalten ist. Die CRs-Lösung legt fest, dass die Zugintegritätsinformation, die an der Zugschnittstelle empfangen wird, drei Zustände einnehmen kann:

- Zugintegrität bestätigt
- Zugintegrität verloren gegangen
- Zugintegrität unbekannt.

Ein detailliertes Zustandsdiagramm ist in Subset-026 [1] definiert. Dieses beschreibt, wie die ETCS-Fahrzeugeinrichtung den Integritätsstatus an das RBC melden soll, basierend auf den von der Zugschnittstelle und anderen Informationsquellen erhaltenen Daten.

2.3 Change Request 1304: Fehlende Sicherheitsanforderungen für Level 3

Bevor im September 2023 die neue CCS TSI veröffentlicht wurde, enthielten die ETCS-Spezifikationen keine Sicherheitsanfor-

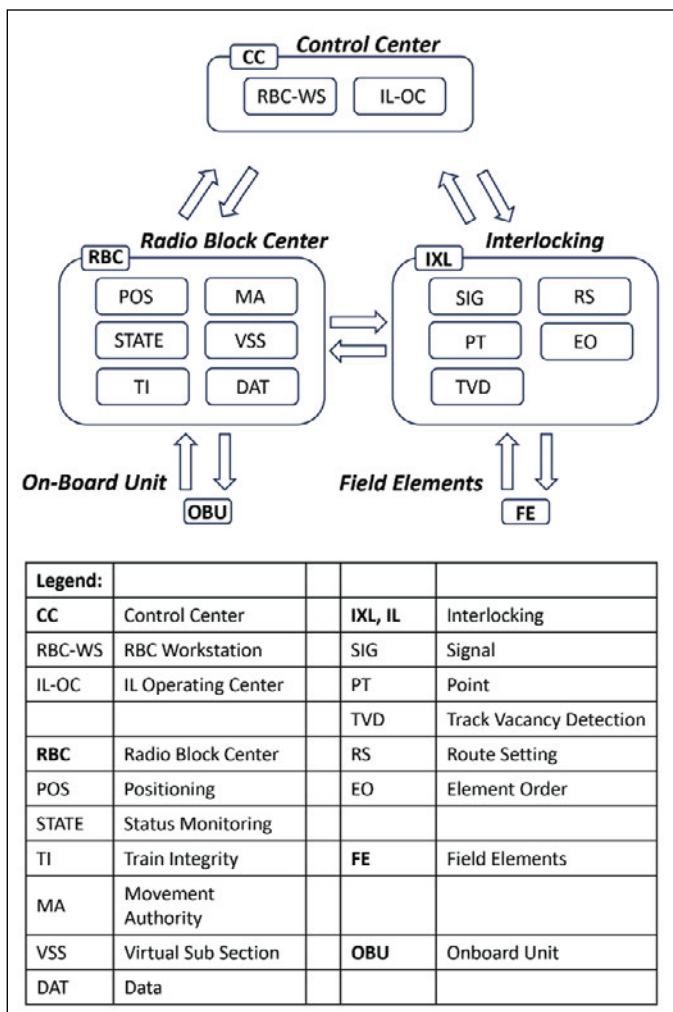


Bild 2: HTD-Informationsaustausch

Fig. 2: The HTD information exchange

Quelle / Source: Siemens

lished that the train integrity information received at the train interface can involve one of three statuses:

- Train integrity confirmed
- Train integrity lost
- Train integrity status unknown.

A detailed state machine is then defined in Subset-026 [1], describing how the ETCS on-board unit will report the integrity status information to the RBC, while considering the information received from the train interface, as well as any other criteria.

2.3 Change Request 1304: missing Level 3 safety requirements

Until the new CCS TSI came into force in September 2023, the ETCS specifications contained no safety requirements covering Level 3 (or what was known as Level 3 prior to CR1342). CR1304 was submitted to close this loophole and Subset-091 v4.0.0 [2] therefore now contains additional safety requirements that are relevant to HTD applications. They are detailed in Chapter 4.

3 New or enhanced trackside functions

HTD systems can integrate seamlessly into signalling systems, thereby providing essential data to control train movements and optimise railway operations. Fig. 2 illustrates the information exchange in an HTD system.

Trackside signals and/or boards and signs can be placed on the track to operate trains in a degraded mode or run trains that are not equipped for HTD. Hence, vehicles that are able to connect to the RBC, but are not equipped for HTD and vehicles that cannot connect to the RBC must be considered alongside vehicles that have been fitted for HTD operations. Timer functions have been introduced for these situations. They cause a fail-safe reaction on the affected parts of the track. The smart setting of the timers depending on the local circumstances can help optimise the train spacing and headway.

By implementing HTD, fixed block sections using TTD can be further divided into virtual subsections (VSS); see fig. 1. Given that the VSS statuses are not detected by any trackside equipment, trackside needs to implement VSS management that determines the VSS status using information from the RBC (based on the train's position reports) and interlocking. A virtual section can have four different states:

- Free – no train reported on the VSS and it is certain that the VSS is free.
- Occupied – an integer train is located on the VSS and it is certain that there is no other train behind in the same VSS.
- Ambiguous – a train is located on the VSS, but it is not certain that there is no other train behind in the same VSS.
- Unknown – no train is reported on the VSS, but it is not certain that the VSS is free.

Fig. 3 shows an example of how the train location is derived for a non-integer train. The position of the rear end can only be assumed since there is no positive confirmation of its location. Hence, the VSS where the train is located are ambiguous, and they change to unknown as they are left with the assumed rear end.

Fig. 4 shows an example of how the train location is derived for an integer train. The established rear end is derived from the estimated front end and the confirmed train length from the last position report with “integrity confirmed” as well as from the TTD. The functional safety requirements and associated risks related to safe vehicle location and track vacancy detection require a corresponding addition to the ERTMS/ETCS reference architecture

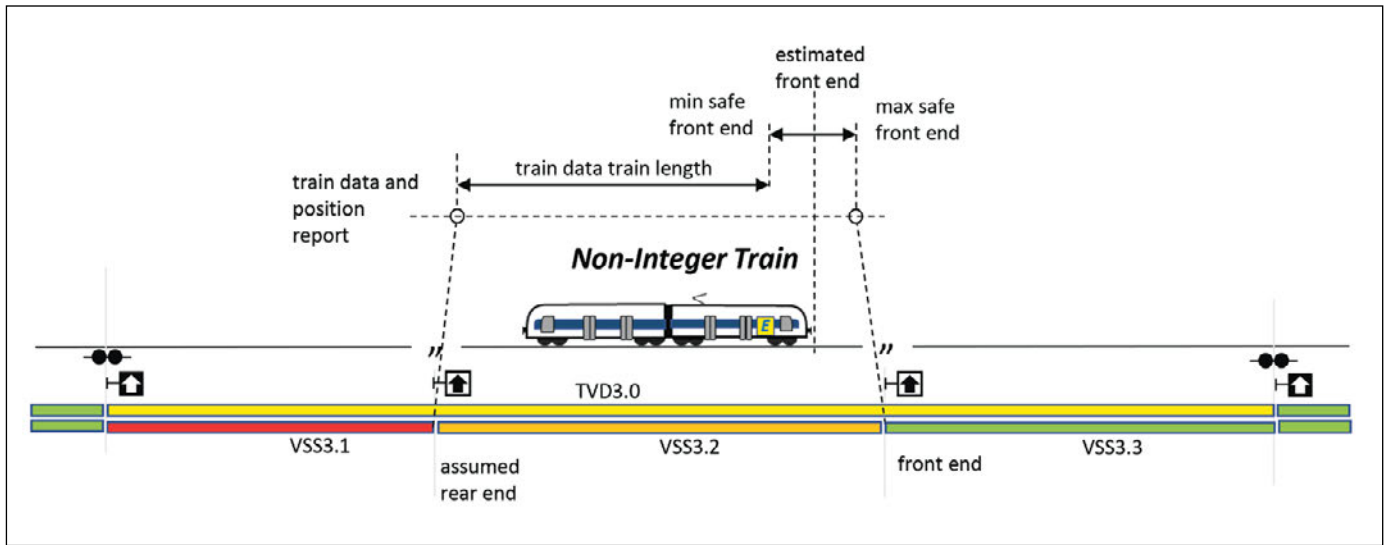


Bild 3: Zugortung für einen nicht integren Zug

Fig. 3: The train location for a non-integer train

Quelle / Source: [3]

derungen für Level 3 (oder was vor CRs1342 Level 3 genannt wurde). CRs1304 wurde aufgeworfen, um diese Lücke zu schließen, und im Ergebnis enthält Subset-091 v4.0.0 [2] jetzt zusätzliche Sicherheitsanforderungen, die für HTD-Anwendungen relevant sind. Diese sind in Kapitel 4 näher ausgeführt.

3 Neue und erweiterte streckenseitige Funktionen

HTD-Systeme können sich nahtlos in bestehende Systeme integrieren, indem sie notwendige Daten zur Steuerung von Zugfahrten zur Verfügung stellen und den Bahnbetrieb optimieren. Bild 2 zeigt den Informationsaustausch in HTD-Systemen.

Streckenseitige Signale und / oder Signaltafeln können weiterhin am Gleis aufgestellt werden für Züge, die nicht für HTD ausgerüstet sind, und als Rückfallebene. Daher müssen neben den Fahrzeugen, die für HTD ausgerüstet sind, sowohl solche Fahrzeuge berücksichtigt werden, die sich zwar mit dem RBC verbinden können, aber nicht für HTD ausgerüstet sind, als auch solche, die sich nicht mit dem RBC verbinden können. Für diese Situationen wurden Timer-Funktionen eingeführt, die eine Fail-Safe-Reaktion auf den betreffenden Streckenabschnitten einleiten. Eine ge-

(Subset-091 [2]). fig. 5 shows a graphical representation of the hazardous events within the ERTMS/ETCS reference architecture that are affected by the HTD functionality and that are assigned safety objectives in the form of tolerable hazard rates (THR).

4 The definition of safety targets

UNISIG Subset-091 Version 4.0.0 [2] defines two new safety targets related to HTD-specific functions: EXT_SR07 regarding the confirmed train length and EXT_SR08 regarding train integrity information:

a) EXT_SR08: Train integrity information shall be provided by external source with at least SIL2 quality.

This SIL2 safety requirement for the train integrity information provided to ETCS has been derived on the basis that an unsafe situation only arises when there has been a mechanical failure on the coupler i.e. a hazard only arises when there is a failure of the monitoring function AND a failure of the coupler. The statistics provided by the X2Rail-4 project, as cited in Subset-091 [2], indicate that unintended train separations occur with a frequency of $6.98E-5$ /h per freight train and $2.61E-6$ /h per passenger train [5]. A SIL2

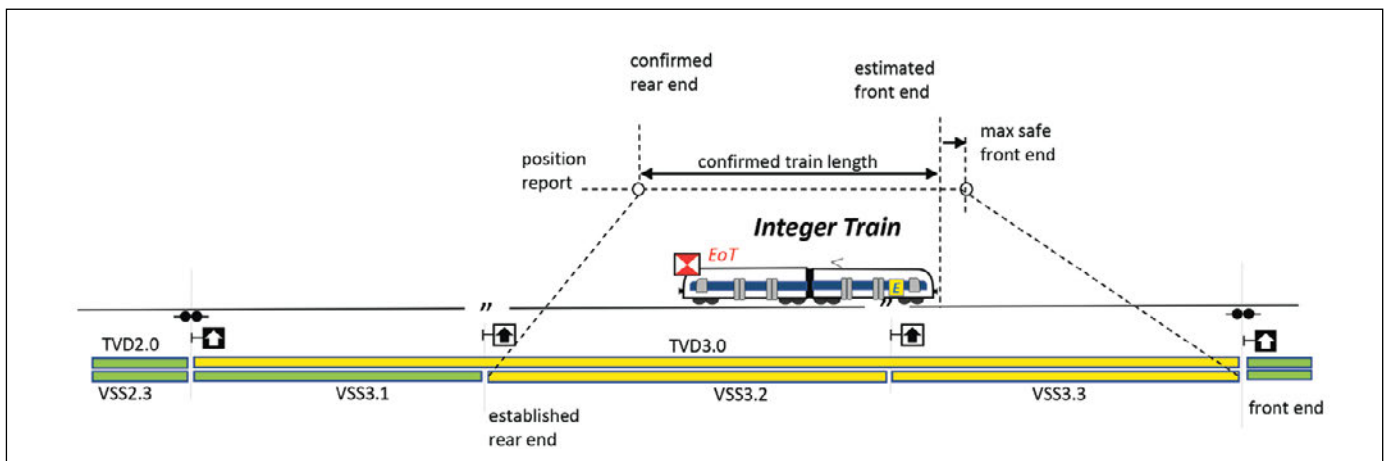


Bild 4: Zugortung für einen integren Zug

Fig. 4: The train location for a integer train

Quelle / Source: [3]

schickte Auswahl der Timer in Abhängigkeit von örtlichen Randbedingungen kann helfen, die Zugfolge zu optimieren.

Mit der Einführung von HTD können die festen Blockabschnitte mit TTD weiter unterteilt werden in virtuelle Unterabschnitte (VSS), siehe Bild 1. Da VSS nicht von der streckenseitigen Technik erkannt werden, muss die Streckenseite ein VSS-Management einrichten, das unter Nutzung von Daten des RBC (die wiederum auf den Zugpositionsmeldungen basieren) und des Stellwerks den Zustand der VSS-Abschnitte bestimmt. Ein virtueller Unterabschnitt kann vier unterschiedliche Zustände einnehmen:

- Frei – Es befindet sich sicher kein Zug in der VSS.
- Besetzt – Ein integrierter Zug befindet sich in der VSS, und es ist sicher, dass sich kein weiterer Zug dahinter in derselben VSS befindet.
- Mehrdeutig – Ein Zug befindet sich in der VSS, aber es ist ungewiss, ob sich ein weiterer Zug dahinter in derselben VSS befindet.
- Unbekannt – Es ist kein Zug in der VSS bekannt, aber es ist auch nicht sicher, ob die VSS frei ist.

Bild 3 zeigt ein Beispiel, wie für einen nicht integren Zug die Zugortung bestimmt wird. Die Zugschlussposition kann nur vermutet werden, da es keine positive Bestätigung der Ortung gibt. Daher sind die VSS, wo sich der Zug befindet, nicht eindeutig und ändern sich in „unbekannt“, wenn das angenommene, hintere Ende den VSS verlässt.

Bild 4 zeigt ein Beispiel, wie die Zugortung für einen integren Zug bestimmt wird. Die Position des Established Rear End wird hergeleitet aus dem Estimated Front End und der Confirmed Train Length aus dem letzten Position Report mit bestätigter Integrität, wie auch aus den TTD.

Die funktionalen Sicherheitsanforderungen und damit zusammenhängenden Risiken in Bezug auf die sichere Zugortung und Gleisfreimeldung erfordern eine entsprechende Erweiterung der ERTMS/ETCS-Referenzarchitektur (Subset-091 [2]). Bild 5 zeigt eine grafische Darstellung der gefährlichen Ereignisse innerhalb der ERTMS/ETCS-Referenzarchitektur, die von der HTD-Funktion beeinflusst werden, und denen Sicherheitsziele in Form von tolerierbaren Gefährdungsraten (Tolerable Hazard Rates – THR) zugeordnet sind.

4 Definition der Sicherheitsziele

UNISIG Subset-091 Version 4.0.0 [2] definiert zwei neue Sicherheitsziele in Bezug auf HTD-spezifische Funktionen: EXT_SR07 zur bestätigten Zuglänge und EXT_SR08 zur Zugintegritätsinformation:

a) EXT_SR08: Die Zugintegritätsinformation soll von der externen Quelle mit mindestens SIL2-Qualität zur Verfügung gestellt werden. Diese SIL2-Anforderung für die Zugintegritätsüberwachung an das ETCS wurde hergeleitet aufgrund der Tatsache, dass ein unsicherer Zustand nur dann entstehen kann, wenn auch ein mechanischer Fehler in der Kupplung auftritt. Eine Gefährdung kann also nur entstehen, wenn gleichzeitig ein Fehler in der Überwachung UND ein Fehler der Kupplung vorliegen. Statistiken aus dem Projekt X2Rail-4, die in Subset-091 [2] zitiert sind, ergaben, dass unbeabsichtigte Zugtrennungen bei Güterzügen mit einer Rate von $6,98E-5$ /h und bei Personenzügen mit einer Rate von $2,61E-6$ /h auftreten [5]. Unter Nutzung des schlechteren Wertes ist ein SIL2-Sicherheitsziel für die Überwachungsfunktion gerechtfertigt.

b) EXT_SR07: Die Confirmed-Train-Length-Information, die im Position Report gesendet wurde, soll SIL4 entsprechen.

Gemäß Subset-026 [1] stellt die Confirmed Train Length den Abstand dar zwischen dem MIN Safe Rear End zu dem Zeitpunkt, als der Zug zum letzten Mal als integer gemeldet wurde, und dem

We create FRMCS.

Mission-critical communication solutions are our DNA. We drive regulatory work and define future communication standards.

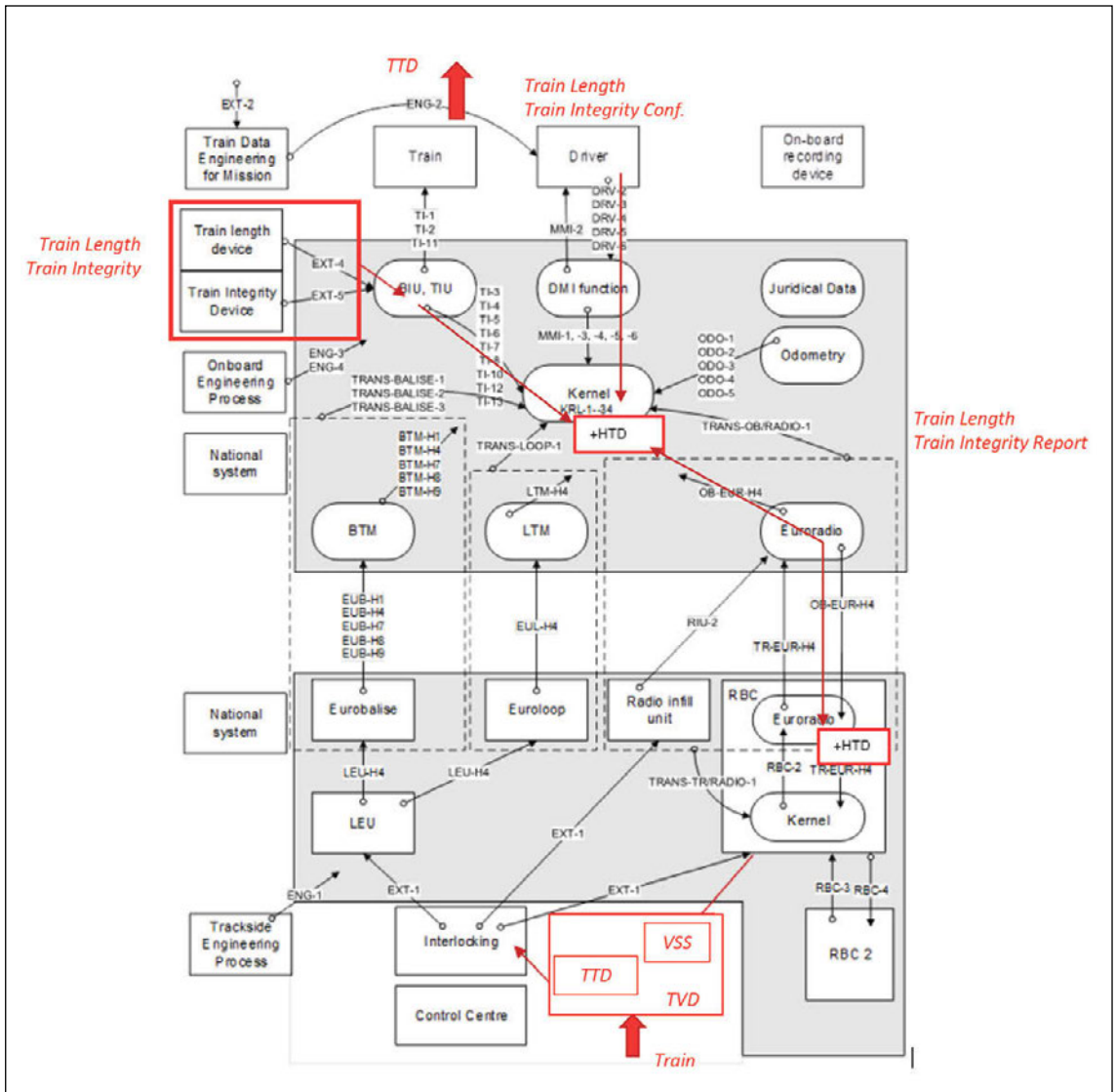
Visit us at InnoTrans 2024
24-27 September
Berlin | Hall 4.1 | Booth 650

www.kontron.com/ktrdn

Kontron Transportation
Your trusted partner. Now. Tomorrow.



Bild 5: ERTMS / ETCS-Referenzarchitektur (Subset-091 v4.0.0 [2]) ergänzt um HTD-Funktionen
 Fig. 5: The ERTMS / ETCS reference architecture (Subset-091 v4.0.0 [2]) amended by the HTD functionality
 Quelle / Source: [2], ergänzt



Estimated Front End zu dem Zeitpunkt, wenn die Zugintegritätsinformation an das RBC gesendet wird, siehe Bild 6.
 Im Gegensatz zum Zugintegritätsstatus, der nur im Fall eines Kupplungsfehlers relevant wird, wird die Confirmed Train Length immer dann von der Streckenseite zur Zugortung genutzt, wenn die Zugposition mit bestätigter Integrität gemeldet wird. Falls ein Fehler dazu führt, dass die Confirmed Train Length nicht die gesamte tatsächliche Länge des Zuges abdeckt, könnte die Streckenseite einen tatsächlich belegten Abschnitt als frei ansehen. Folglich kann ein Fehler in der Confirmed Train Length direkt zu einer Gefährdung führen, daher ist ein höheres Sicherheitsziel notwendig.
 Eine HTD-Implementierung nutzt fahrzeugseitige Funktionen (insbesondere die Bestimmung der Zuglänge und die Zugintegritätsüberwachung), um Funktionen auszuführen, die vorher der streckenseitigen Gleisfreimeldung zugeordnet waren und die sich laut Bild 1 in Subset-091 [2] außerhalb der Harmonized Domain befinden. Daher kann ein Sicherheitsziel für „Ein VSS-Abschnitt wird als frei gemeldet, obwohl er tatsächlich besetzt ist“ weder Teil von ETCS_OB01 (0,67E-9 für ETCS Fahrzeugausrüstung ohne Übertragung) noch von ETCS_TR01 sein (0,67E-9 für ETCS Streckenausrüstung ohne Übertragung).
 Unter Berücksichtigung der katastrophalen Konsequenzen eines möglichen Unfalls wurde aufgrund der Risikomatrix der EN 50126

safety target for the monitoring function can therefore be justified when using the more conservative value.
 b) EXT_SR07: Confirmed train length sent in position report shall be of a quality corresponding SIL4.
 According to Subset-026 [1], the Confirmed Train Length represents the distance between the min safe rear end at the time the train was last known to be integer and the estimated position of the train front at the time when the train integrity information is sent to the RBC, as illustrated in fig. 6.
 In contrast to the train integrity status, which only becomes relevant when there has been a coupler failure, the Confirmed Train Length is used by the trackside to localise the train every time the train position is reported with confirmed integrity. If a failure results in the Confirmed Train Length that does not cover the full extent of the train, the trackside may consider the track to be clear when it is in fact physically occupied. Consequently, a higher safety target is required, given that a failure in the Confirmed Train Length information can directly result in a hazard.
 An HTD trackside implementation relies on vehicle functions (in particular: the determination of the train length and train integrity supervision) to replace the functions of the trackside Train Detection Systems, which are classified as outside the harmonised domain (see fig. 1 in Subset-091) [2]. Therefore, a safety target for a “VSS-

eine eigene tolerierbare Gefährdungsrate von $1E-9$ für „sehr unwahrscheinlich“ festgelegt.

5 Methodik der Sicherheitsanalyse

Ein funktionsübergreifendes Team von Siemens an den Standorten Braunschweig, Berlin und Madrid mit Fachleuten aus den Bereichen ETCS, Bahnbetrieb und Sicherheit definierte die Benutzeranforderungsspezifikation, die Betriebsszenarien und die funktionalen Spezifikationen für ETCS HTD. Darauf aufbauend führte Informatik Consulting Systems GmbH (ICS) erstmals eine umfassende System-sicherheitsanalyse unter Einbeziehung sowohl der streckenseitigen als auch der fahrzeugseitigen Funktionen durch, um die Sicherheitsziele herzuleiten und klarzustellen.

Die europäischen Spezifikationen lassen noch viel Gestaltungsspielraum, was eine umfassende Analyse schwierig macht. Daher mussten Annahmen und Einschränkungen als Grundlage für die Analyse festgelegt werden, um den Umfang zu beschränken und dennoch für die wahrscheinlichen Umsetzungen anwendbar zu sein. Eine weitere Maßnahme, um den Umfang in sinnvoller Weise einzugrenzen, war, die Analyse auf solche Risiken zu fokussieren, die HDT-spezifisch sind, die also dadurch zusätzlich entstehen, dass HTD anstelle der klassischen Gleisfreimeldesysteme genutzt wird. Ziel war dabei, die Analyse anwendbar zu machen auf die vorgesehenen Migrationskonzepte von der reinen TTD-Ortung zu HTD.

Der erste Schritt der Analyse (Bild 7) diente dazu, Fehler zu identifizieren, die beim Betrieb in HTD auftreten können. Für eine Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) wurden betriebliche Szenarien und Projektierungsrichtlinien [4] für HTD analysiert. Danach wurden alle identifizierten Fehler darauf bewertet, ob sie ein HTD-spezifisches Risiko generieren oder nicht.

Nach Identifizierung und Auswahl der relevanten Fehlerszenarien wurden diese als Gates in einer Fault Tree Analysis (FTA) verwendet, welche darauf abzielte, das gesamte HTD spezifische Risiko zu quantifizieren.

Das Top-Level-Ereignis repräsentiert die Wahrscheinlichkeit des HTD-spezifischen Risikos, dass die Zugererkennung gefährlich ausfällt, welches sich aus der Summe der Wahrscheinlichkeiten der Fehlerszenarien ergibt.

Die Fehlerszenarien wiederum setzen sich aus Basisereignissen zusammen, die zusammentreffen müssen, damit das Fehlerszenario eintritt. Die Basisereignisse bestehen aus den initialen Fehlerereignissen und dem Ausfall der mitigierenden Sicherheitsfunktionen. Die mitigierenden Funktionen wurden ausgewählt vor dem Hintergrund, dass die Analyse auf zu erwartende HTD-Implementierungen anwendbar sein soll. Sie beinhalten Sicherheitsfunktionen von ETCS (z. B. ein externes Gerät zur zusätzlichen Bestimmung der Zuglänge) wie auch Systeme nach dem Stand der Technik (z. B. Bremsen und Achszähler).

Die Analyse basierte auf Subset-091 Version 3.9.2. Zwischenzeitlich wurde der CRs 1304 in Version 4.0.0 umgesetzt, siehe Bild 7.

6 Ergebnis: Identifizierung der gefährlichen Szenarien

Der Fehlerbaum, der in der Sicherheitsanalyse erzeugt wurde, kann die Frage beantworten, ob und unter welchen Bedingungen das Sicherheitsziel erreicht wird, indem dieses mit dem TOP-Ereignis verglichen wird. Weiterhin können die Teilfehlerbäume analysiert werden, um spezielle gefährliche Szenarien genauer zu betrachten und festzustellen, wie kritisch diese sind.

Die Analyse identifizierte die folgenden gefährlichen Szenarien mit spezifischen HTD-Funktionen:

Sicher. Modular. Und für die digitale Schiene.

Unsere modulare Steuerungsplattform revolutioniert die Bahnindustrie und ermöglicht eine digitale Transformation. Von der Überwachung und Steuerung von Bahnübergängen bis hin zur elektrisch ortsgesteuerten Weiche (EOW) und dem EULYNX Object Controller bieten wir eine flexible Plattform, die sich Ihren individuellen Anforderungen anpassen lässt. Investieren Sie jetzt in die zukünftige Automatisierung der Bahn und profitieren Sie von innovativen, sicheren und digitalen Lösungen. Mit Pilz sicher und zuverlässig unterwegs in die digitale Zukunft!



Jetzt mehr erfahren!

PILZ

THE SPIRIT OF SAFETY

Pilz GmbH & Co. KG
Tel.: 0711 3409-0, info@pilz.de, www.pilz.de

InnoTrans

24.–27. September 2024

Halle 27, Stand 550

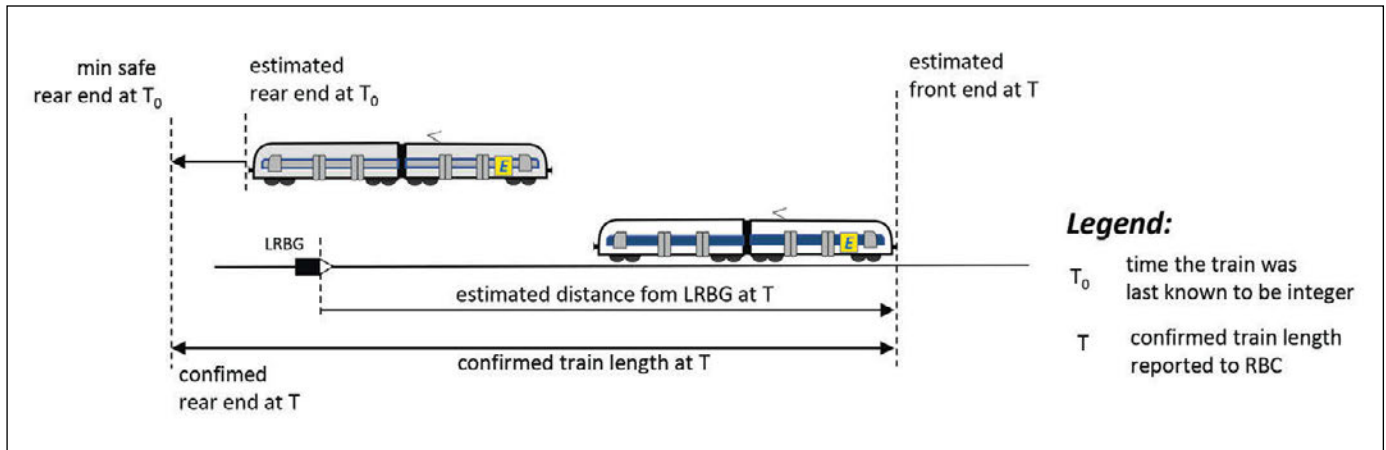


Bild 6: Die Confirmed Train Length informiert das RBC, wo sich das MIN safe rear end des Zuges befand, als der Zug zuletzt als integer gemeldet wurde.

Fig. 6: The Confirmed Train Length information informs the RBC where the minimum safe rear end of the train was located at the time when the train was last known to be integer. Quelle / Source: [1]

1. unerwartete und unerkannte Zugtrennung, die zur Kollision eines anderen Zuges mit dem zurückgebliebenen Zugteil führt
2. unerkanntes Zurücklassen eines Zugteils bei einer beabsichtigten Zugteilung (Flügelbetrieb)
3. falsche Eingabe der Zuglänge beim Start, was zur zu frühen Freigabe des Abschnitts hinter dem Zug führt
4. Schattenzug: Ein zweiter, nicht verbundener Zug versteckt sich hinter einem verbundenen Zug in der Startphase.

Nicht nur eine zu kurze Bestimmung der Zuglänge (d. h. der Zug ist tatsächlich länger als ermittelt wurde) kann gefährlich sein (Szenario 3), sondern im Zusammenhang mit dem Schattenzug-Szenario (Szenario 4) auch eine zu lange Bestimmung der Zuglänge:

- Szenario 3 erfordert die Umsetzung des CRs1304 für eine sicherere Bestimmung der Zuglänge entweder durch streckenseitige Maßnahmen (z. B. Achszähler an bestimmten Punkten) oder durch eine unabhängige zweite fahrzeugseitige Informationsquelle für die Bestimmung der Zuglänge (siehe Kapitel 7). Die Projektierungsrichtlinien [4] geben Hinweise, welche Bereiche mit streckenseitiger Gleisfreimeldung ausgerüstet werden sollten.
- Zu Szenario 4 sind in der spezifischen Anwendung Betrachtungen unter Einbeziehung der Gleislagepläne, Signallagepläne, Betriebsregeln und Zuggarnituren notwendig, um das Risiko von Schattenzug-Szenarien zu bewerten und zu minimieren oder auszuschließen.

Die anderen Szenarien 1 und 2 sind bereits durch Befolgen der aktuellen ETCS TSI hinreichend unwahrscheinlich.

7 Technische Umsetzung für Vollbahnanwendungen

Um den hohen Sicherheitsanforderungen des Subset-091 [2] an eine Berechnung und Übermittlung der Train Integrity Information zu genügen, sind fahrzeugseitig unterschiedliche Architekturvarianten angedacht. Insbesondere die in hoher Qualität (SIL4) geforderte Ermittlung der Confirmed Train Length hat dabei einen entscheidenden Einfluss auf die Randbedingungen der Umsetzungsstrategie. So geht die reale Zuglänge auf der Grundlage der ETCS Train Data gemäß CRs940 (siehe auch Abschnitt 2) in die Berechnung mit ein.

Abgesehen vom European Vital Computer (EVC) als Quelle eines statisch vorkonfigurierten/validierten Wertes kann eine SIL4-

tion is reported as being free even though it is physically occupied” is part neither of ETCS_OB01 (0.67E-9 for ETCS on-board without transmission) nor ETCS_TR01 (0.67E-9 for ETCS trackside without transmission).

A tolerable hazard rate of 1E-9 has been defined (“highly improbable”) for the specific HDT functions based on the risk matrix from EN 50126 and considering the catastrophic consequences of a possible accident.

5 The methodology of the HTD safety analysis

A cross-functional team from Siemens in Braunschweig, Berlin and Madrid, including key experts in ETCS, train operation and safety, has defined the ETCS HTD user requirement specification, operating modes and functional specifications. For the first time, a comprehensive system safety analysis, including both trackside and onboard functions, has been conducted by the Informatik Consulting Systems GmbH (ICS) in order to derive and clarify the safety targets.

The European specifications still leave a lot of design space open, which makes a comprehensive analysis difficult. A set of assumptions/limitations has been introduced as the basis of the analysis with the intent of limiting its scope and still applying to any likely HTD implementations. The analysis aims to derive and analyse only HTD specific risks (risks that are introduced or exacerbated using HTD instead of “classical” train detection systems) as another way of meaningfully limiting the scope. The goal was to make the analysis feasible and applicable to common concepts on how to migrate to HTD from pure trackside TTD systems.

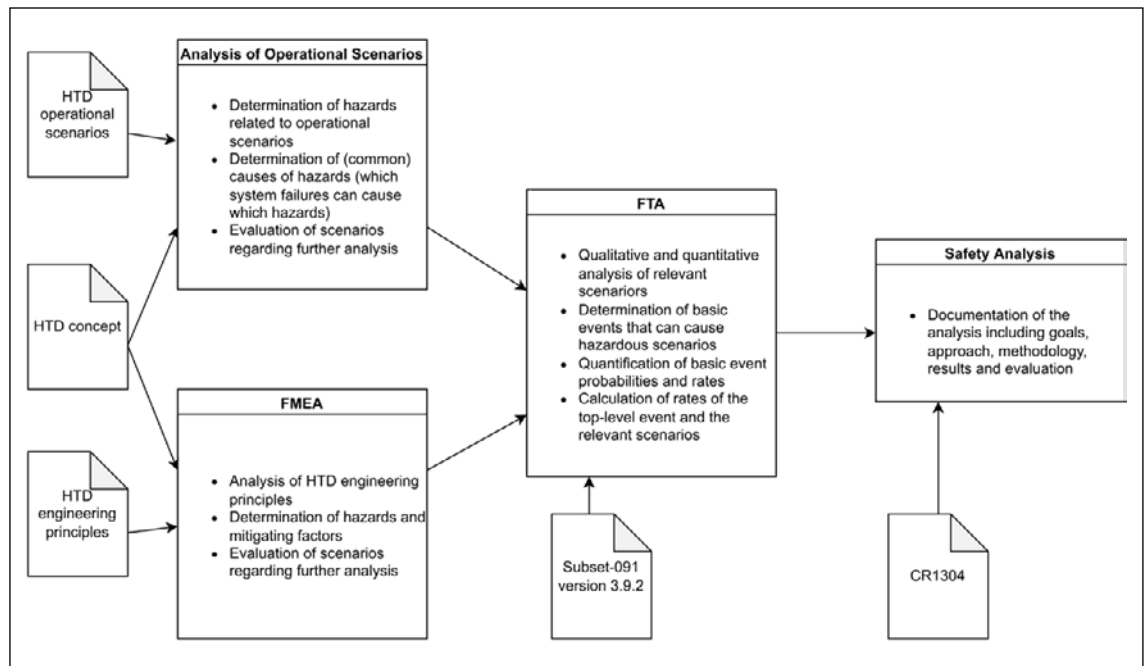
The first step of the analysis (fig. 7) was aimed at identifying any failures that can occur during operations in HTD. Operating scenarios in the HTD context and the HTD Engineering Guidelines [4] were analysed using a Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). After completing this step, all the identified failures were evaluated to see whether they fitted the aforementioned criteria of causing an HTD-specific risk or not.

After identifying and choosing the relevant failure scenarios, they were used as gates in a Fault Tree Analysis (FTA), which aimed to quantify the total HTD-specific risk. The top-level event, which represents the HTD-specific risk for train detection to fail critically, is calculated as the sum of all the failure scenario probabilities.

Bild 7: Informationsfluss in der Analyse

Fig. 7: The information flow of the analysis

Quelle / Source: ICS GmbH



Qualität im Hinblick auf eine betrieblich erwünschte dynamische Quelle (z. B. im Kontext des Anwendungsfalles Kuppeln / Entkuppeln) initial nicht angenommen werden. Dies gilt insbesondere für eine gemäß Subset-091 [2] legitimierte externe Quelle wie die Fahrzeugsteuerung. Dafür rückt neben einer reinen ETCS-Lösung, die beispielsweise eine fahrzeugübergreifende EVC-EVC-Kommunikation nutzt, eine den Randbedingungen des Subset-091 [2], EXT_SR07 genügende Lösung in den Fokus. Diese sieht einen sicheren Vergleich von funktional unabhängig erzeugten, sicheren Inputs aus unterschiedlichen Quellen vor. Dafür bietet sich eine Ermittlung und Bereitstellung der Confirmed Train Length in SIL4-Qualität durch den EVC an, die dann auf dem sicheren Vergleich von unterschiedlichen Werten für die Zuglänge basiert.

The probability of a scenario is determined by the basic events that have to coincide for the scenario to occur. The basic events consist of initial failure events and the failure of any mitigating safety functions.

The mitigating safety functions were chosen while keeping in mind that the analysis should be applicable to common, possible HTD implementations. These include the safety functions required by ETCS (e.g. an external device that determines the train length) and common state-of-the-art systems (e.g. brakes and axle counters).

The probability for the basic events was based on version 3.9.2 of Subset-091 and the SIL for state-of-the-art technologies. CR 1304 has been implemented in version 4.0.0 in the meantime (fig. 7).



»Entdecken Sie die nächste Generation.«

Vorbeikommen und eine bahnbrechende Innovation entdecken.

InnoTrans 2024
24-27 SEP 2024
THE FUTURE OF MOBILITY

Halle 25 | Stand 525

MESSE BERLIN GMBH
EXPOCENTER CITY | MESSEDAMM 22, 14055 BERLIN

esa-grimma.de

Diese werden auf unabhängigen Datenpfaden erzeugt und übermittelt, z. B. Zugsteuerung über ETCS TIU und ETCS-Zugdateneingabeverfahren über ETCS Fahrzeugeinrichtung (EVC, Driver Machine Interface – DMI), wie in Bild 9 dargestellt.

Für das Zugdateneingabeverfahren gemäß Subset-026 [1] ist dabei eine spezifizierte Eingabe, Bestätigung und Validierung der am DMI eingegebenen Zugdaten durch den Triebfahrzeugführer (Tf) vorgesehen. Dabei gilt es sicherzustellen, dass sowohl für die optionale Verwendung von Vorschlagswerten am DMI als auch für die durch den Tf genutzten Eingangsinformationen die erforderliche Unabhängigkeit zu den im ETCS TIU Datenpfad genutzten sicheren Inputs vorliegt. Bei erfolgreichem Vergleich der unabhängig ermittelten und übertragenen Zuglängen sowie Ermittlung und Bereitstellung der Confirmed Train Length durch den EVC sind die fahrerseitigen Randbedingungen an einen ETCS Level 2 HTD erfüllt.

Schlägt der sichere Vergleich der unabhängig ermittelten und übertragenen Zuglängen im EVC fehl, so wird der Tf darüber informiert und kann die Eingabe wiederholen. Die Anzahl der möglichen Wiederholungen richtet sich an den Randbedingungen der betrieblichen Risikoanalyse des Betreibers aus und führt bei Überschreitung der erlaubten Fehlversuche zu einer Anzeige des unabhängig erzeugten und übermittelten Wertes der Fahrzeugsteuerung. Die Validierung dieses Wertes durch den Tf führt dabei in jedem Fall zu einem Übergang in den ETCS Level 2. Die fahrerseitigen Randbedingungen an einen ETCS Level 2 HTD sind in diesem Fall nicht erfüllt.

8 Zusammenfassung

HTD wurde spezifiziert, um streckenseitige Gleisfreimeldung mit fahrerseitiger Zuglängenbestimmung und -integritätsprüfung zu kombinieren. Es ermöglicht die Reduzierung der Streckenausrüstung und erhöht die Effizienz des Betriebs auf der Strecke.

6 The results: identified hazardous scenarios

The fault tree constructed during the safety analysis can answer the question as to whether the safety target has been met by comparing it with the top-level event. Furthermore, the sub-trees can be analysed to look at specific hazardous scenarios and to figure out how critical they are.

The analysis identified the following hazardous scenarios with specific HTD functions:

1. An unintended and undetected train split leading to a collision between another train and the train part that has been left behind.
2. An undetected train part left behind after joining and splitting.
3. The incorrect initial entry of the train length, leading to the early release of the track sections behind the train.
4. A shadow train: a second, unconnected train hides behind the connected train in the start-up phase.

Not only can the overly short indication of a train's length (the train is actually longer than the indicated train length) be dangerous (Scenario 3), but so too can an overly long indication of the train's length within the context of the shadow train scenario (Scenario 4):

- Scenario 3 requires the implementation of CRI304 for a safer definition of the train length either using trackside solutions (e.g. axle counters) or an additional independent, on-board source of train length information (see Chapter 7). Engineering Guideline [4] gives hints as to which areas should be supervised by trackside train detection.
- In order to mitigate Scenario 4, considerations based on the local track layout, signalling layout, operating rules and train sets must be made in the specific application in order to evaluate and minimise or exclude the risk of any shadow train scenarios.

The other Scenarios 1 and 2 were found to be sufficiently mitigated hazards following the current ETCS TSI.

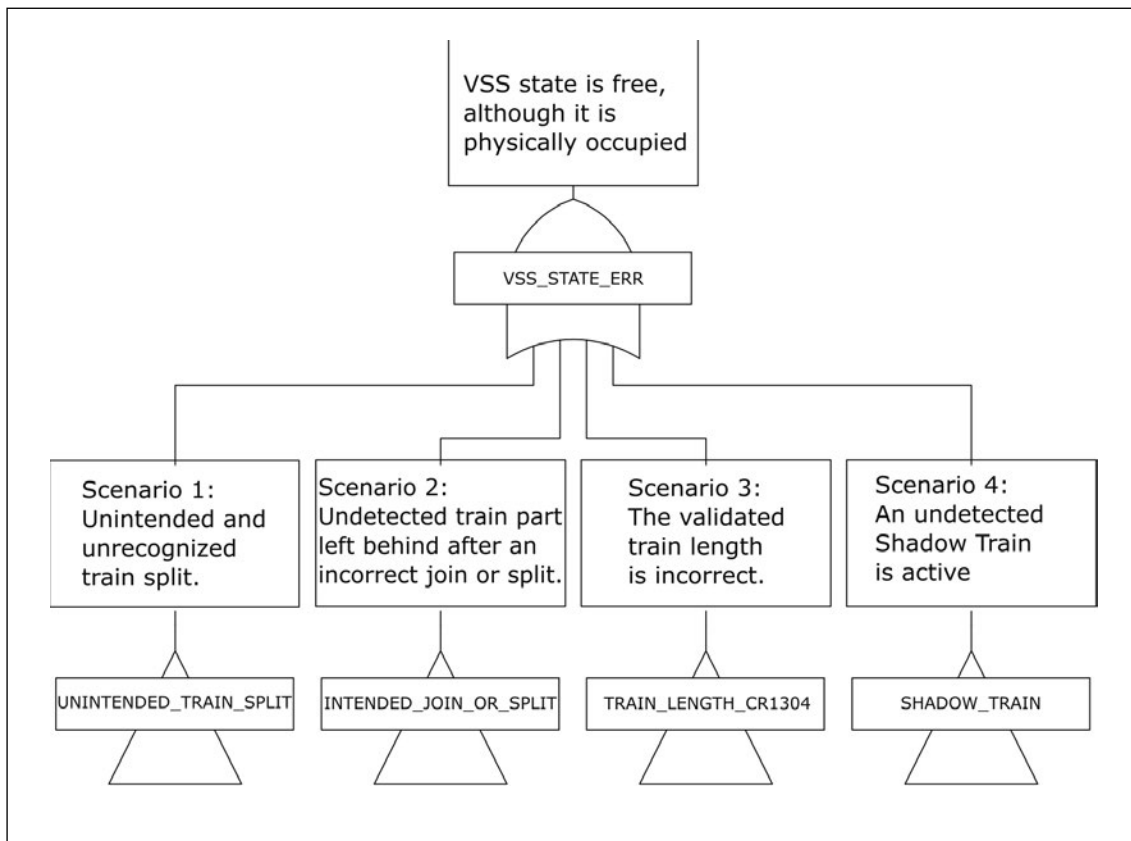


Bild 8: TOP-Fehlerbaum
 Fig. 8: The TOP fault tree
 Quelle / Source: ICS GmbH

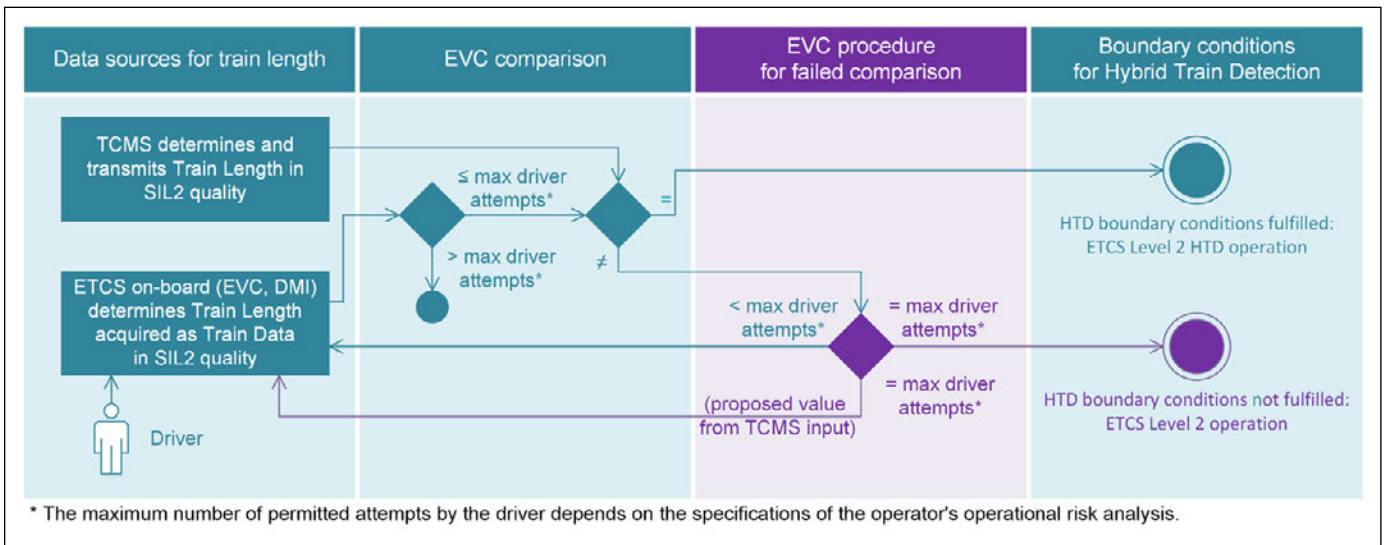


Bild 9: Randbedingungen für Hybrid Train Detection am Beispiel der Zuglänge

Fig. 9: The boundary conditions for Hybrid Train Detection using the example of train length

Quelle / Source: Siemens

Eine Analyse wurde durchgeführt und zeigt, dass ausreichende Betriebssicherheit unter HTD möglich ist. Vier wesentliche gefährliche Szenarien wurden identifiziert:

- unbeabsichtigte Zugtrennung
- Zurücklassen eines Zugteils beim Flügelbetrieb
- falsche Eingabe der Zuglänge
- Schattenzug hinter einem verbundenen Zug.

Um diese Gefährdungen zu beherrschen, sind zusätzliche fahrzeuggestützte Maßnahmen zur sicheren Bestimmung der Zuglänge in Entwicklung und Umsetzung. Einerseits gibt es einen Bedarf nach projektspezifischen Maßnahmen zur Reduzierung des Risikos von Schattenzügen. Herkömmliche TTD sollte weiterhin verwendet werden, um bestimmte Gefährdungen zu beherrschen, wie dies in den Projektierungsrichtlinien [4] empfohlen wird. Außerdem schlagen diese Richtlinien Werte für Timer-Funktionen vor, um bestimmte Gefährdungen zu beherrschen.

7 The technical implementation for mainline applications

Different architecture variants are being considered on the vehicle side in order to meet the high safety requirements of Subset-091 [2] for the calculation and transmission of train integrity information (see section 4). The determination of the Confirmed Train Length required at a high quality (SIL4) has a particularly decisive influence on the boundary conditions for the implementation strategy. The real train length is included in the calculation based on the ETCS Train Data in accordance with CR940 (see section 2).

Aside from the European Vital Computer (EVC) as the source of a statically preconfigured/validated value, no SIL4 quality with regard to an operationally desired dynamic source (e.g. within the context of a coupling/uncoupling use case) can initially be assumed. This particularly applies to an external source legitimised in accordance with Subset-091 [2] such as the train control and monitoring sys-

Sichere Digitalisierungslösungen für die Mobilität!

- Bahnbetriebliche IP-Netze
- Cybersecurity für Bahn & ÖPNV
- Übertragungsnetz-lösungen
- Digitalisierung durch sichere Vernetzung

Lassen Sie uns sprechen!

24.-27. September 2024

InnoTrans

Halle 4.1 | Stand 440

telent
service · commitment · value
www.telent.de

Wir stellen die Weichen auf Zukunft!

Die Analyse basierte auf der zum Zeitpunkt neuesten ETCS Baseline 3 und vorgeschlagenen CRs. Die neue Baseline 4 setzt einige dieser CRs um. HTD kann als eine Umsetzung von ETCS Level 2 in Baseline 4 angesehen werden.

Diese Analyse bildet eine Basis für erste Anwendungsprojekte mit HTD, die derzeit in Umsetzung sind. ■

LITERATUR | LITERATURE

- [1] ERTMS/ETCS Subset-026: System Requirements Specification, v4.0.0
- [2] ERTMS/ETCS Subset-091: Safety Requirements for the Technical Interoperability of ETCS in Levels 1 & 2, v3.9.2 & v4.0.0
- [3] Principles ERTMS/ETCS Hybrid Train Detection; Ref 16E042, Version 1F; 2022-12-20
- [4] 80. ERTMS/ETCS Hybrid Train Detection Engineering; Ref 21E087, Version -3; 2022-12-09
- [5] X2Rail-4 Deliverable D6.1 "Results of feasibility studies and laboratory tests for candidate technologies selection and adaptation of existing solutions", 2020-10-12
- [6] Hetzer, M.; Kriener, J.; Unger, R.; Voß, J.H.: Bringing ETCS Level 3 into operation from an onboard perspective, SIGNAL+DRAHT 07-08/2022, p. 29-36

AUTOREN | AUTHORS

Dr. Gregor Theeg

RAMS Manager Mainline
Siemens Mobility GmbH
Anschrift / Address: Ackerstraße 22, D-38126 Braunschweig
E-Mail: gregor.theeg@siemens.com

Craig McLellan

Key Expert ERTMS Principles
Siemens Mobility GmbH
Anschrift / Address: Ackerstraße 22, D-38126 Braunschweig
E-Mail: craig.mclellan@siemens.com

Heiko Saalbach

RAMS Manager Mainline
Siemens Mobility GmbH
Anschrift / Address: Ackerstraße 22, D-38126 Braunschweig
E-Mail: heiko.saalbach@siemens.com

Dr. Frank Wend

RAMS Manager Mainline (retired / im Ruhestand)
Siemens Mobility GmbH
E-Mail: frank.wend@freenet.de

Martin Hetzer

RAMS Manager ATP On-board
Siemens Mobility GmbH
Anschrift / Address: Kieholzstraße 44, D-12435 Berlin
E-Mail: martin.hetzer@siemens.com

Lorenz Giese

RAM and functional Safety Engineer
Informatik Consulting Systems GmbH
Anschrift / Address: Kreuzstraße 12, D-04103 Leipzig
E-Mail: lorenz.giese@ics-gmbh.de

Martin Haase

RAM and functional Safety Engineer
Informatik Consulting Systems GmbH
Anschrift / Address: Kreuzstraße 12, D-04103 Leipzig
E-Mail: martin.haase@ics-gmbh.de

tem (TCMS). Therefore, the focus is on a solution that meets the boundary conditions of Subset-091 [2], EXT_SR07 in addition to a pure ETCS solution that uses, for example, EVC-EVC communication across vehicles. This provides for a safe comparison of the functionally independently generated, safe inputs from different sources. This can be achieved by the EVC determining and providing the Confirmed Train Length based on a safe comparison of the train length values. These are generated and transmitted on different, independent data paths, e.g. TCMS via ETCS TIU and the ETCS train data entry procedure via ETCS on-board equipment (EVC, Driver Machine Interface – DMI) as shown in fig. 9.

The input, confirmation and validation of the train data entered on the DMI by the train driver is specified for the train data entry procedure in accordance with Subset-026 [1]. It must be ensured that the required independence from the safe inputs used in the ETCS TIU data path exists both for the optional use of any default values on the DMI and for the input information used by the train driver.

If the independently determined and transmitted train lengths are successfully compared and the Confirmed Train Length is determined and provided by the EVC, the on-board boundary conditions for ETCS Level 2 HTD are fulfilled.

If the safe comparison of the independently determined and transmitted train lengths in the EVC fails, the driver is informed and can repeat the entry. The maximum number of permitted attempts is based on the boundary conditions for the operator's operating risk analysis and leads to the display of an independently generated value transmitted from the train control and monitoring system (TCMS) if the permitted number of failed attempts is exceeded. The validation of this value by the train driver always leads to a transition to ETCS Level 2. However, the on-board boundary conditions for ETCS Level 2 HTD are not met in this case.

8 Conclusion

HTD has been specified as a means of combining trackside train detection with on-board equipment that reports a train's position and integrity. It allows for a decreased need for trackside equipment and increases the efficiency of operations on the tracks.

An analysis has been conducted that shows that sufficient operating safety is achievable under HTD. Four main hazards have been identified:

- unintended train splits;
- leaving behind train parts during planned joining and splitting;
- the incorrect entry of the train length information;
- a shadow train behind a connected train.

In order to control all these hazards, additional train-based measures for the safe determination of the train length are under development and implementation. On the other hand, there is also a need for project-specific measures to minimise any shadow train risks. Conventional TTD should still be used to avoid certain hazards as recommended by the HTD Engineering Guidelines [4]. Furthermore, these Guidelines suggest specific parameters for the timer functions that mitigate some of the hazards.

The analysis was based on the latest ETCS Baseline (Baseline 3) and the proposed CR. The new Baseline 4 incorporates some of these CR. HTD can be considered an implementation of ETCS Level 2 in ETCS Baseline 4.

This analysis forms a basis for the first implementation projects with HTD that are currently in progress. ■

Ein Ansatz für das Verkehrsmanagement und die Stellwerkssimulation für Schienenverkehr und U-Bahn

An approach to traffic management and interlocking simulation in railway and underground railway operations

Omar Javed

Simulationen spielen bei der Entwicklung eines jeden realen Systems eine zentrale Rolle. Sie verwenden reale Daten oder Szenarien, um die Funktionen dieser Systeme nachzubilden. Entwickler und Betreiber setzen bei der Entwicklung und dem Betrieb von Systemen täglich Simulationen ein, um bestimmte Szenarien zu testen und herauszufinden, wie die Systeme darauf reagieren. Mithilfe von Simulationen lassen sich für jede hypothetische Situation oder auch für ein zukünftiges Szenario die Ergebnisse vorhersagen. Während der Systementwicklung liegt der Hauptnutzen der Simulation darin, ein kostengünstigeres System mit geringeren Risiken zu entwickeln. Während der Prüf- und Testphase geht es um die Sicherstellung der Leistung, Effizienz und Zuverlässigkeit eines Systems. Nach der Inbetriebnahme des Systems können die Entwickler anhand von Simulationen bestimmte Szenarien auf der Grundlage der Eingabedaten untersuchen.

1 Simulationen in Bahnsystemen

In der realen Welt werden sowohl die Systeme selbst als auch ihre Umgebungen immer komplexer, was es schwierig macht, jedes Szenario zu identifizieren und zu testen. Im Schienenverkehr arbeiten viele verschiedene operative Systeme zusammen, um eine umfassende Lösung zu bieten. Viele Systemeigentümer sind IB (Infrastruktur-

Simulationen play a key role in the development of any real-world system. They use real data or scenarios to mimic the functions of these systems. Developers and operators use simulations every day during the development and operation of systems in order to test specific scenarios and identify how the systems will respond under such circumstances. Simulations can be used to predict outcomes for any hypothetical situation or future occurrence of a scenario. During system development, the key benefit of using simulation is a cost-effective system with reduced risks. During testing, it is the performance, efficiency, and reliability of the system. Once the system has been deployed, the developers can use simulations to explore specific scenarios based on the input data.

1 Simulations in railway systems

Both systems and environments in the real world are becoming increasingly complex, thereby making it challenging to identify and test every scenario. In railways, many different operative systems work together to provide a comprehensive solution for rail traffic operations. Many of these system owners are IMs (infrastructure managers) and RUs (railway un-

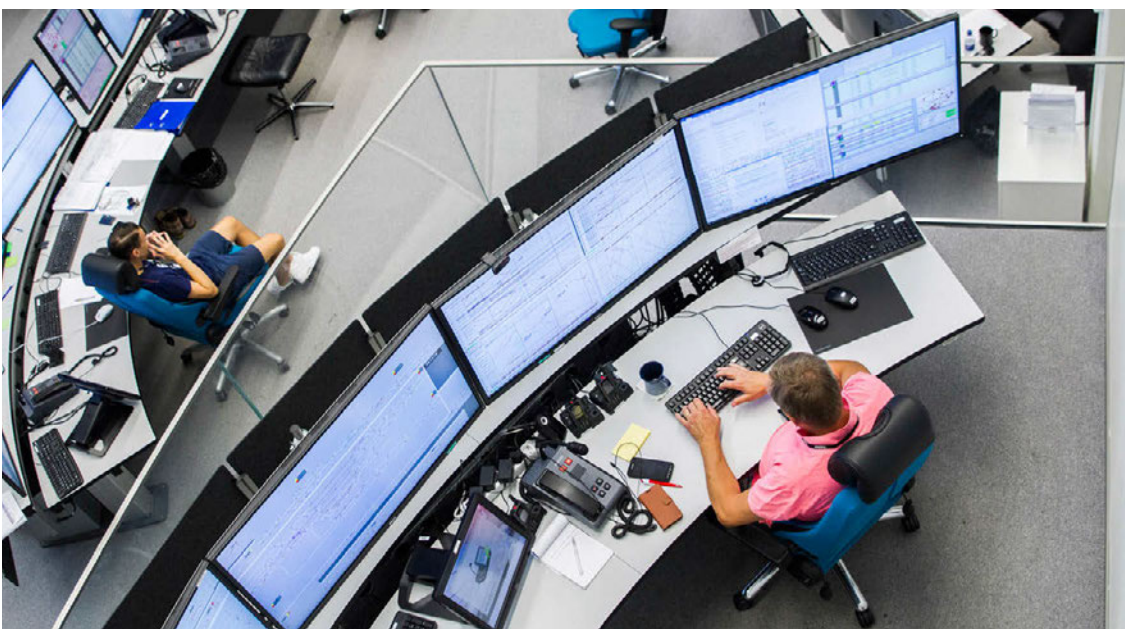


Bild 1:
Verkehrsleitzentrale
Fig. 1: A traffic
management centre

turbetreiber) und EVU (Eisenbahnverkehrsunternehmen), aber es gibt natürlich noch andere Systemteilnehmer, die planen, verwalten und umplanen – und damit sicherstellen, dass der Verkehr auf den Gleisen gemäß dem Fahrplan läuft und die verfügbare Streckenkapazität optimal genutzt wird. Zu den Systemen gehören Sicherheitssysteme wie Stellwerke und RBC (Radio Block Centre), Verkehrssteuerungssysteme wie CTC (Central Traffic Control) und TMS (Traffic Management System – siehe Bild 1), Verkehrsplanungssysteme wie Fahrplanerstellung- oder Managementsysteme und Systeme für das Kapazitätsmanagement im Schienenverkehr sowie Systeme für das Situationsbewusstsein. Neben diesen Systemen gibt es viele weitere Systeme, die den täglichen Betrieb des Schienenverkehrs für einen IB und ein EVU unterstützen. Viele dieser Systeme sind entweder direkt oder über Schnittstellen mit den Sicherheitssystemen und dem CTC-System verbunden. Die Herausforderung besteht dadurch, dass die Systemeigentümer viele dieser Systeme über viele Jahre hinweg von verschiedenen Anbietern bezogen haben und deren Funktionsmerkmale meist auf den jeweiligen Implementierungsverfahren und den damals verfügbaren Technologien basieren.

Die Entwicklung einer Simulationsumgebung für solch komplexe Systeme, die herstellerunabhängig ist, wird zu aufwendig und nahezu unmöglich. Der Schienenverkehr ist ein rhythmischer Prozess, der von Individuen in verschiedenen Organisationen abhängt und die ineinandergreifende Aufgaben ausführt. An diesen Aufgaben sind Lokführer, die die Züge steuern, Verkehrsbetreiber in Verkehrsleitzentralen und Bahnbetriebszentralen sowie Personal in Rangierbahnhöfen, auf Bahnsteigen und an anderen Orten beteiligt.

Ein gut definierter Ansatz besteht darin, die Umgebung in kleinere Teile aufzuteilen, diese zu isolieren und eine Simulation für die wichtigsten Aspekte dieser Umgebung zu erstellen. Für den Schienenverkehr können wir uns ein Szenario vorstellen, in dem die Betreiber ihre täglichen Verkehrsmanagementabläufe simulieren müssen. Die wichtigsten Systeme in diesem Szenario sind das Stellwerk und ein TMS-System.

undertakings), while there are also other system owners who plan, manage, re-plan and ensure that the traffic runs on the railway tracks according to the schedule by maximising the use of the available track capacity. These systems include safety systems such as interlockings and RBC (Radio Block Centre), traffic control systems such as CTC (Central Traffic Control) and TMS (Traffic Management System – see fig.1), traffic planning systems such as timetable planning or management systems and rail capacity management systems and situational awareness systems. In addition to these systems, there are also many other systems that support day-to-day railway operations for the IM and RU. Many of these systems are connected to the safety systems and the CTC system, either directly or through interfaces. The challenge arises when system owners procure many of these systems over many years from multiple vendors with functionalities that are most often based on the implementation techniques and technologies that the vendor had available at the time.

It becomes overly complex, and almost impossible, if we want to design a simulation environment for such complex systems that is vendor agnostic. Railway operations are a rhythmic process that depends on individuals working in different organisations and performing interrelated tasks. These tasks involve drivers operating trains, the traffic operators at traffic management centres and train operation centres and the staff at yards, on platforms and at other locations.

A well-defined approach involves breaking the environment into smaller pieces, isolating them and building a simulation for the most important aspects of that environment. For railway traffic operations, we can consider a scenario where the operators need to simulate their daily traffic management operations. The most important systems in this scenario are the interlocking and the TMS system.

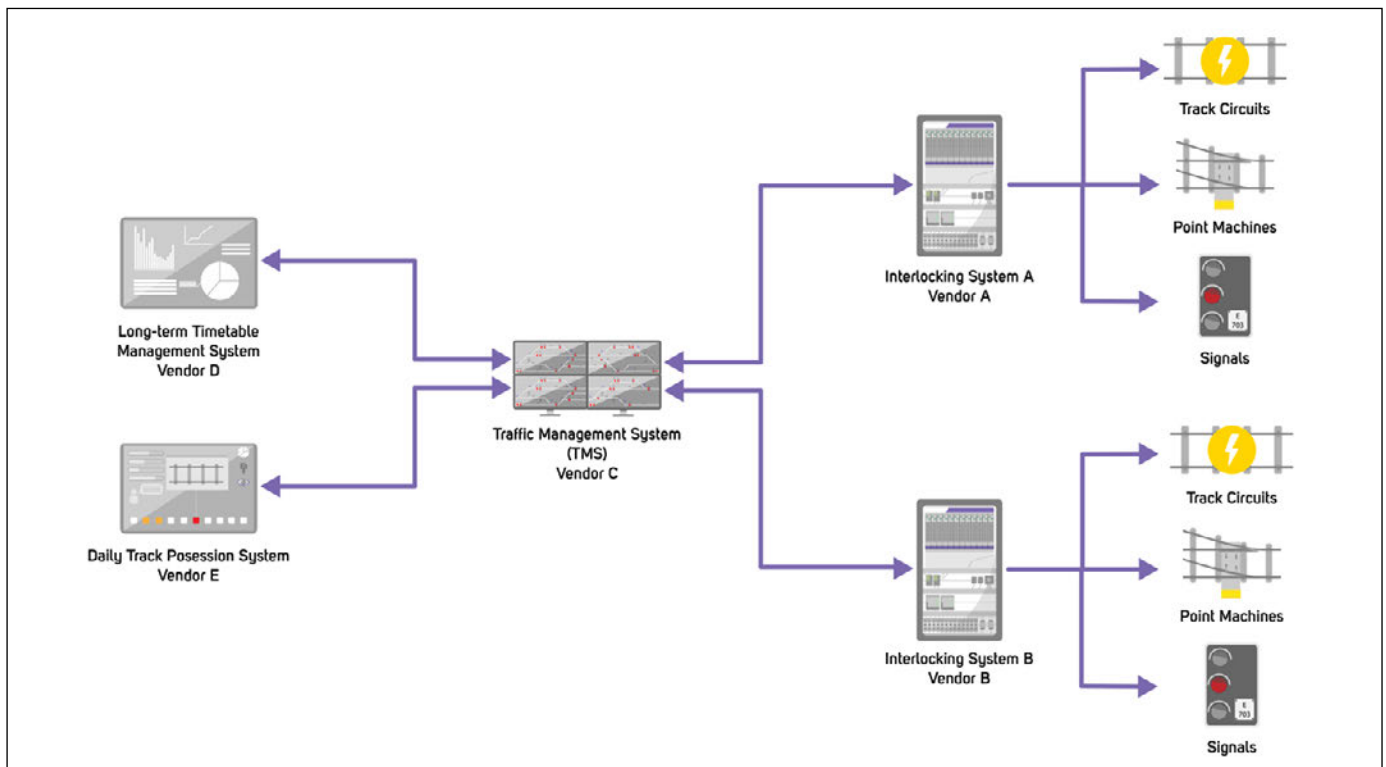


Bild 2: Ein typisches Verkehrsmanagementsystem-Szenario

Fig. 2: A typical traffic management system scenario

2 Verkehrsmanagementsimulationen

Die Verkehrsleitzentrale ist 24 Stunden am Tag, sieben Tage die Woche in Betrieb, und die Verkehrsüberwacher/Disponenten verbringen die meiste Zeit vor den Gleislayout-Bildschirmen, um den Verkehr zu beobachten. In einem gut konzipierten, fahrplanbasierten Automatisierungssystem müssen die Disponenten möglicherweise nicht viele Maßnahmen ergreifen, um den Verkehr zu steuern. Es kann jedoch viele Situationen geben, von einem verspäteten Zug bis hin zu einer Störung eines Weichenantriebs im Gleis, die ein sofortiges Handeln der Disponenten erfordern, um eine bewusste Entscheidung mithilfe der im System verfügbaren automatischen Werkzeuge zu treffen. Das Schienenverkehrsmanagement ist auf Echtzeitinformatoren aus vernetzten Systemen angewiesen (Bild 2). Technologien zur Gleisfreimeldung, wie Achszähler oder Gleisstromkreise, übermitteln Informationen über Zugbewegungen an das Stellwerk. Das Stellwerk steuert und kontrolliert den Betrieb der meisten streckenseitigen Elemente. Es kann weitere Schnittstellensysteme geben, wie z. B. das Fahrplannerstellungssystem, das langfristige Fahrpläne für das Verkehrsmanagement liefert, oder das Gleisbausystem, das zu einem bestimmten Zeitpunkt Informationen über die Verfügbarkeit der Gleise liefert. Das Verkehrsmanagementsystem empfängt und verarbeitet all diese Informationen, um den Verkehr entsprechend dem Fahrplan effektiv zu steuern, wobei es die vom Stellwerk definierten und auf der physischen Geometrie basierenden Streckeninformationen versteht. Die Verkehrsbetreiber können die Simulation nutzen, um den Netzfahrplan zu überprüfen, bevor er gültig wird, oder um neue Funktionen, die im Rahmen des Stellwerks oder des TMS eingeführt wurden, zu testen. Sie können den Simulator auch als Schulungsinstrument für verschiedene Szenarien und ihr Personal nutzen. Effektive Verkehrsmanagementsimulationen erfordern, dass reale Systeme an der Simulationsumgebung beteiligt sind. Eine typische Simulationsumgebung besteht häufig aus den Systemen, die im Arbeitsalltag verwendet werden, und dem eigentlichen Simulationssystem (Bild 3).

2 Traffic management simulations

The traffic operations centre operates 24 hours a day, seven days a week and the traffic operators spend most of their time in front of the track layout screens observing the traffic. In a well-designed timetable-based automation system, traffic operators may not need to take many actions to manage traffic. However, there can be many situations, ranging from a delayed train to the malfunction of a point machine on the track, that require the traffic operators to make an immediate, conscious decision using the automated tools that are available in the system.

Railway traffic management relies on real-time information from the connected systems (fig. 2). Track vacancy detection technologies, such as axle counters or track circuits, provide the interlocking with train movement information. The interlocking then manages and controls the operations of most trackside elements. There may also be another interfaced system, such as a timetable planning system that provides long-term timetables for traffic management, or the track work system that provides track occupation information at any given time. The traffic management system receives and processes all this information so as to effectively manage the traffic according to the timetable, whereby it understands the route information as defined by the interlocking and based on the physical geometry.

Traffic operators may want to use a simulation to check a working timetable before it becomes valid or to test some new features that have been introduced as part of the interlocking or TMS. They can also use the simulator as a training tool for different scenarios and for their personnel.

Effective traffic management simulations require real systems to be included in the simulation environment. A typical simulation environment often consists of the systems that are currently used in day-to-day work and the simulation system (fig. 3).

This environment facilitates a better understanding of the simulations by the personnel from an operational point of

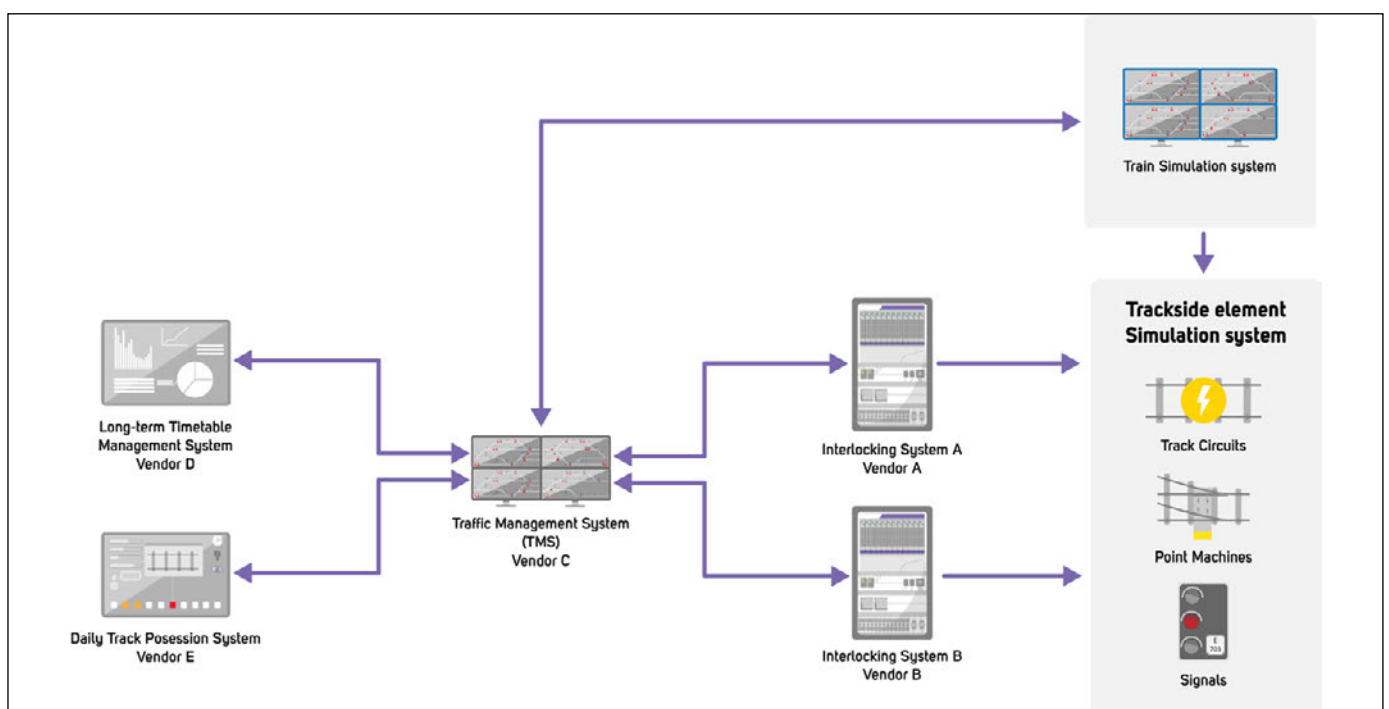


Bild 3: Aufbau der Simulationssystemumgebung

Fig. 3: The environment setup of a simulation system

Diese Umgebung sorgt beim Personal für ein besseres Verständnis der Simulationen aus operativer Sicht. Die Simulationsumgebung ist unabhängig von den realen Systemen, sodass alle Änderungen in der realen Umgebung, die außerhalb des Systems liegen, sich aber direkt auf seine Funktionen auswirken, unabhängig verwaltet werden können. Es ist wichtig zu verstehen, dass, wenn einige Systeme nicht in der Simulationsumgebung verfügbar sind, die Simulationen keine Szenarien durchspielen können, die mit den Informationen aus diesen fehlenden Systemen verknüpft sind.

3 Simulationen des Stellwerks und der streckenseitigen Elemente

Eine der Herausforderungen beim Aufbau einer Verkehrsmanagement-Simulationsumgebung besteht darin, dass die Funktionalität der Systeme ähnlich wie bei den ursprünglichen Systemen sein muss. Dies ist eine Herausforderung für Systeme wie das Stellwerk, die auf spezieller Hardware laufen (Bild 4). Dank der Hardware- und Software-Virtualisierungstechnologien können solche Herausforderungen bewältigt werden. Darüber hinaus kann eine herstellerübergreifende Stellwerkslösung eine größere Herausforderung darstellen, wenn verschiedene Hersteller dieselbe IM-Anforderung umgesetzt haben, die aber intern auf ihren eigenen technologischen Entscheidungen und Implementierungsdetails basieren. Ein Aspekt, der bei der Simulation des Stellwerkssystems berücksichtigt werden muss, ist die Steuerung der physischen Elemente am Gleis. Ein bestimmtes Stellwerkssystem kann verschiedene Arten von Weichen, Signalen und Gleisfreimeldesystemen umfassen. Die Simulation dieser streckenseitigen Elemente ist eine Herausforderung, da sie je nach Alter, Generation und Elementtyp oft sehr genaue Eigenschaften aufweisen. Falls erforderlich, müssen auch spezifische Merkmale für eine einzelne Elementart definiert werden. Es ist wichtig, diese Elemente und ihre Eigenschaften gut zu kennen, und es ist sinnvoll, sich mit Kunden auszutauschen, die diese Geräte gewartet haben.



Bild 4: Stellwerkshardware im Einbauschränk
 Fig. 4: The interlocking hardware in the cabinet

view. The simulation environment is independent of the actual systems, so any changes in the real environment that are outside of the system, but have a direct impact on its functions, can be managed independently. It is important to understand that the simulations will not be able to perform scenarios that are linked to information from any systems that are unavailable in the simulation environment.

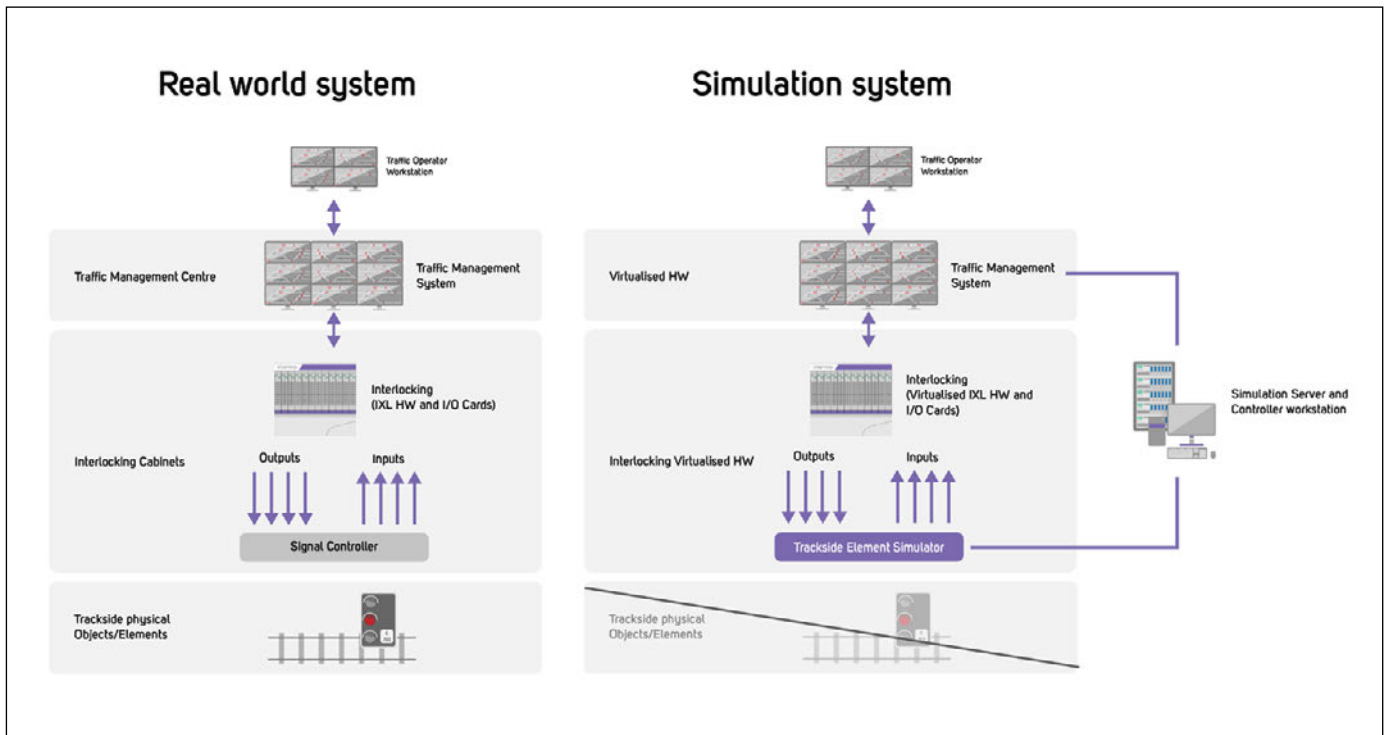


Bild 5: Reales System vs. Simulationssystem
 Fig. 5: A real-world system vs a simulation system

Diese simulierten streckenseitigen Elemente werden dann durch das Stellwerk als streckenseitiges Element gesteuert. Damit steht eine vollständige Stellwerksimulationsumgebung zur Verfügung, die in der Simulationsumgebung verwendet werden kann.

4 Zugsimulationen

Der Zugsimulationsprozess umfasst die Simulation eines Zuges mit seinen genauen Eigenschaften und das Fahren dieses Zuges mithilfe von simulierten Streckenelementen. Die grundlegende Funktion eines Zugsimulators besteht darin, Züge auf simulierten Strecken zu fahren. Diese Züge können automatisch mithilfe des Fahrplans erstellt werden oder vom Benutzer bei der Erstellung eines bestimmten Simulationsszenarios zur Simulation hinzugefügt werden. Die Züge erscheinen weiterhin im Schienennetz auf Basis des verfügbaren Fahrplans und können auf den virtuellen Gleisen fahren, die von simulierten Streckenelementen gesteuert werden. Zugsimulatoren ahmen die physikalischen Eigenschaften von Zügen nach. Diese Simulatoren verarbeiten Informationen wie die Traktionsdaten, die Zusammensetzung und den Typ des Zuges. Anhand dieser Informationen kann der Simulator die Züge anhand dieser physikalischen Merkmale starten, fahren und anhalten. Das bedeutet, dass die Beschleunigung, das Abbremsen und das Anhalten des Zuges auf den realen Eigenschaften des Zuges beruhen.

3 Interlocking and trackside element simulations

One of the challenges in building a traffic management simulation environment involves maintaining a system functionality that is similar to that of the original systems. This is a challenge for systems such as interlockings that run on dedicated hardware (fig. 4). Such challenges can be overcome using hardware and software virtualisation technologies. In addition, a multi-vendor interlocking solution where different vendors have implemented the same IM requirement, but based on their own internal technology choices and implementation details, can pose a greater challenge.

One aspect that needs to be addressed in the simulation of the interlocking system is the control of the physical trackside elements. A given interlocking system can have numerous types of switches, signals and track vacancy detection systems. The simulation of these trackside elements is challenging as they often have very precise characteristics according to their age, generation and element type. If deemed necessary, specific characteristics must also be defined for each individual element type. It is important to have a good understanding of such elements and their characteristics and it is helpful to have discussions with customers who have maintained these types of devices.

The interlocking then controls these simulated trackside elements as trackside elements. This provides a complete interlocking simulation environment that can be used in the simulation environment.



Systemlösungen für die Bahninfrastruktur

- | | |
|----------------------------------|-------------|
| ● Bahnübergangstechnik | PINPROTEGIO |
| ● Achszähltechnik | PINCLIRIO |
| ● Stellwerks- und Rangiertechnik | PINMOVIO |
| ● Weichenantrieb | PINMOVIO |
| ● Signale | PINLUXON |
| ● Fördertechnik | PINPOSITON |
| ● Weichenheizungen | PINCALIO |
| ● Diagnose | PINDIAGON |

PINTSCH
Safety for Rail

5 Verkehrssimulationen: Geplanter Ansatz

In der Wirklichkeit kann eine Simulation nur so gut sein wie die Daten und Systemkomponenten, mit denen sie erstellt wurde. Wenn wir die bestehenden Systeme wiederverwenden und die externen Informationen aus den realen Beispielen zur Verfügung stellen können, können wir davon ausgehen, dass die Simulationen Ergebnisse liefern, die der Realität entsprechen.

Mipro baut für einen seiner Kunden einen kompletten Streckenelements-Simulator, bei dem einzelne Elemente an die Umgebung des Kunden angepasst werden können. Unter normalen Bedingungen verhalten sich diese Elemente ähnlich wie ein echtes Streckenelement. Wir haben eine Benutzeroberfläche entwickelt, die es den Endbenutzern ermöglicht, Fehler für diese einzelnen Streckenelemente zu erstellen, die vom Stellwerkssystem erkannt werden können. Die Software-Logik des Stellwerks steuert diese Elemente nach Sicherheitsprinzipien und alarmiert das Verkehrsleitsystem. Die Verkehrsbetreiber können über ihre simulierte Verkehrsleitsystem-schnittstelle die erforderlichen Maßnahmen ergreifen, um den reibungslosen Ablauf des Schienenverkehrs zu gewährleisten (Bild 5). Als Teil der Simulationsumgebung hat Mipro auch einen Zugsimulator gebaut, der die Züge auf den simulierten Gleiselementen steuert. Dieser Simulator kann die Züge entsprechend den Traktionsinformationen beschleunigen und abbremsen. Er kann auch die Taktfrequenz erhöhen oder verringern, um die Simulationen zu einem bestimmten Zeitpunkt schneller oder langsamer laufen zu lassen und die Konflikte in den Simulationsszenarien in der Zukunft zu erkennen. Züge können automatisch im Schienennetz nach einem vorgegebenen Fahrplanszenario oder einem vom Benutzer erstellten Szenario erstellt werden. Sobald die Züge im Netz angelegt sind, beginnt das Automatisierungsmodul des Verkehrsleitsystems damit, die entsprechenden Fahrtrouten für die Züge zu erstellen. Der Zugsimulator erkennt die Signaländerungen anhand der Zustände der streckenseitigen Elemente und beginnt mit der Beschleunigung der Züge. Die physikalischen Eigenschaften der Gleise, wie Kurven und Geschwindigkeitsbegrenzungen, sind definiert und werden beim Betrieb eines Zuges beachtet, aber auch Ausnahmen können im System erstellt werden, um ein bestimmtes Szenario zu simulieren.

6 Ausblick

Der Aufbau einer realen Verkehrsmanagementsimulation ist eine komplexe Aufgabe, insbesondere wenn die Simulationsumgebung die physikalischen Eigenschaften aller Systeme und streckenseitigen Elemente verschiedener Generationen berücksichtigen muss. Die Wechselwirkungen zwischen allen Komponenten einer Simulationsumgebung müssen im Detail identifiziert werden, und es muss dann entschieden werden, ob ein Kompromiss verwendet oder ein detailliertes Modell für die Wechselwirkung implementiert werden soll. Das Wichtigste ist, die Mindestanforderungen zu ermitteln und dann je nach Bedarf weitere Systeme und Funktionen hinzuzufügen, um die Simulationsumgebung zu verbessern. ■

AUTOR | AUTHOR

Omair Javed
 Produktmanager Verkehrsmanagement / *Product manager traffic management*
 Mipro Oy
 Anschrift / Address: Bertel Jungin aukio 1, FI-02300 Espoo
 E-Mail: omair.javed@mipro.fi

4 Train simulations

The train simulation process includes simulating a train with accurate characteristics and driving it with the help of simulated trackside elements. The basic functionality of a train simulator involves creating trains on simulated tracks. These trains can be created automatically using the timetable or can be added to the simulation by user when creating a specific simulation scenario. The trains will continue to appear in the rail network with the available timetable and can run on the virtual tracks controlled by the simulated trackside elements. Train simulators mimic the physical characteristics of trains. These simulators take in information such as the train's traction information, composition and type. The simulator can use this information to start, run and stop the trains using these physical characteristics. This means that the train acceleration, deceleration and braking is based on the train's real characteristics.

5 Traffic simulations: the built approach

In the real world, a simulation can only be as good as the data and system components used to create it. If we are able to reuse existing systems and provide the external information from real-world examples, we can expect the simulations to deliver results that come close to reality.

Mipro is building a complete trackside element simulator for one of its customers, where the individual elements can be adapted to the customer's environment. These elements will behave similarly to a real-life trackside element under normal conditions. A user interface has been developed to provide end users with a way to create faults for these individual trackside elements that can be detected by the interlocking system. The interlocking's software logic will manage these elements according to the safety principles and alert the traffic management system. The traffic operators can use the simulated traffic management system interface to take the necessary action in order to ensure the smooth flow of the rail traffic (fig. 5).

As part of the simulation environment, Mipro has also built a train simulator that manages the trains at the simulated trackside elements. It can accelerate and decelerate the trains according to the traction information. It can also increase or decrease the clock speed to run simulations faster or slower at any given time and identify any conflicts in the future simulation scenarios. Trains can be automatically created in the rail network according to the provided timetable scenario or the scenario provided by the user. Once the trains have been created in the network, the traffic management system's automation module will start creating the routes for the trains accordingly. The train simulator detects the signal changes from the trackside element statuses and starts accelerating the trains. The physical characteristics of the tracks, such as curves and speed limits, are defined and followed when running the train, but exceptions can be created in the system to simulate a specific scenario.

6 The way forward

Building a real-world traffic management simulation is a complex task, especially when the simulation environment needs to consider the physical characteristics of all the systems and trackside elements from different generations. The interactions between all the components in a simulation environment need to be identified in detail and an agreement then has to be reached on whether to use a compromise or to implement a detailed interaction model. The important thing is to identify the minimum requirements and then to add more systems and features as needed in order to improve the simulation environment. ■

BIM-SOFTWARE FÜR INFRASTRUKTURPLANUNG

Weichen stellen für die Mobilität von morgen

Besuchen Sie uns
auf der InnoTrans 2024

Halle 5.2 | Stand 135

InnoTrans



Mit ProVI sind Sie nach nur zwei Tagen einsatzbereit für die Gleis- und LST-Planung der Zukunft. Intuitiv, schnell, durchgängig und assoziativ – vom kleinen Bahnhof bis zur Hochgeschwindigkeitsstrecke.“

”
Mojan Pourkasrai,
Technical Account
Managerin bei ProVI



Fragen?
Rufen Sie uns an

+49 89 57 99 – 700

ProVI

Verkehr und Infrastruktur planen

PROVI-CAD.DE

Integriertes Leit- und Bediensystem der DB InfraGO – Bediensystem mit Zukunft

DB InfraGO integrated Control and Operating System – control system with a future

Anke Wiedenroth

Seit einem Jahr ist das integrierte Leit- und Bediensystem (iLBS) vollumfänglich als Gesamtsystem in Betrieb. Im Rahmen einer Referenzimplementierung sind mit drei erfolgreichen Inbetriebnahmen schrittweise die Ziele erreicht, die im Projekt Design Integrierter Bedienplatz (DiB) umgesetzt wurden. Seit September 2023 sind Systeme von vier Herstellern im iLBS integriert, die in neuer Architektur mit neuer Schnittstelle an verschiedenen Standorten erfolgreich miteinander interagieren. Anlass, um das neue Bediensystem nochmals kurz vorzustellen, den Weg und Perspektiven aufzuzeigen und eine Bilanz zu ziehen.

1 Im iLBS kommt Vieles zusammen

1.1 Eine kurze Technikvorstellung

Der Entwicklung des iLBS (Bild 1) ging eine Problemlage voraus, die zu wichtigen Zielen führte. Man wollte die Heterogenität in der Bedienlandschaft und Bedienunterschiede aufheben, hemmende Inflexibilität durch Technik- und Herstellerabhängigkeiten auflösen und ein modernes Design mit Tageslicht-Arbeitsplätzen schaffen. Die Bedienung soll anwenderfreundlich sein und perspektivisch alle betrieblichen Anwendungen integrieren. Zudem braucht es die Möglichkeit für eine flexible Zuordnung der Netzbereiche. Insgesamt müssen Instandhaltungsaufwand und Kosten bezüglich der Bedienung verringert werden. Für diese anspruchsvollen Ziele liefert das iLBS alle technischen Voraussetzungen. Unter Anwendung neuer zentraler Systeme in zwei LST-Managementcentern (LMC) und eigens entwickelter neuer technischer

The integrated Control and Operating System (iCOS) has been in full operation as a complete system for a year now. The set objectives have been achieved by means of three successful commissioning steps under the reference implementation. Systems from four manufacturers have been integrated into the iCOS since September 2023 and they now are cooperating successfully with each other in a new architecture and with a new interface at various locations. This is a good time to briefly present the new operating system once again, to point out the path and perspectives and to take stock.

1 The iCOS brings many things together

1.1 A brief introduction of the technology

The development of the iCOS (fig. 1) was preceded by a problematic situation that led to a number of important goals. The aim was to eliminate any heterogeneity in the operating landscape and operating differences, eradicate the inhibiting inflexibility caused by technology and manufacturer dependencies and create a modern design. The system operation should be user-friendly and integrate all the operated applications in the long term. It also needs the option of flexibly assigning the network areas. In general, the installation and operation costs associated with system operation must be reduced. The iCOS provides all the technical requirements for these ambitious goals. Using new central systems at two CST Management Centres (CMC) and specially developed new technical components at both



Bild 1: Bedienung mit Zukunft – modern, einheitlich, standardisiert durch neue Technik in neuer Architektur

Fig. 1: The future of system operation – modern, uniform and standardised thanks to new technology in a new architecture

Quelle/Source:

DB AG Projekt DiB

Technische Lösung	Ziel-Umsetzung	Bedeutung
Verlagerung der Sicherheitsverantwortung durch Anwendung der weiterentwickelten Sicherungsverfahren AnSi/EiSi Non-Sil für die Bedienplatz-Hardware (HW)	<ul style="list-style-type: none"> • Integrierte Bedienung • Vereinfachte Zulassung • Kostensenkung der HW • Verfügbarkeit 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verlagerung schafft die technische Grundlage für die Integration von Umsystemen. 2. Durch den Verzicht der Sicherheitsverantwortung in der Bedienebene fallen HW-Komponenten wie Monitor etc. aus dem Sicherheitsnachweis. Dies vereinfacht die Zulassung und ermöglicht den Einsatz industriestandarder COTS-Komponenten. 3. Kauf und Tausch von Monitoren werden einfacher und bedeutend günstiger. 4. Dies hat positive Effekte auf Lebenszyklus und Verfügbarkeit.
SCI-CC_LST	<ul style="list-style-type: none"> • Vereinheitlichung • HW-Neutralität Unabhängigkeit von Hersteller und Bauform 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Wir haben eine zu 100 % standardisierte Schnittstelle zwischen Stellwerk und Bedienung. 2. Es ist egal, welcher Stellwerks-Hersteller oder ob ESTW oder DSTW bedient wird – die Bedienung ist immer gleich. 3. Durch die SCI-CC als Schnittstellenstandard und die damit einhergehende Herstellerunabhängigkeit öffnet sich der Wettbewerb. 4. Über die SCI-CC_LST können Datenströme mitgeschnitten und somit deutlich bessere Fehleranalysen durchgeführt werden.
iLBS-Zentraleinheit	<ul style="list-style-type: none"> • Unabhängigkeit von Hersteller • Unabhängigkeit von Bauform 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Umsetzung der neuen technischen Funktionen, wodurch die signaltechnisch sicheren Systeme unverändert bleiben; d. h. alle integrierten Unterzentralen agieren nach außen gleich. Für die Fdl gibt es keine Bedienunterschiede. 2. Mit dem iLBS können sowohl Elektronische als auch Digitale Stellwerke (ESTW, DSTW) bedient werden. 3. Mit dem iLBS können auch Bestands-ESTW bedient werden, sodass auch kleinere Stellwerke bereits in der neuen Architektur migrieren können. Ermöglicht nachhaltige Investition für Zukunft.
Zentrale Systeme in zwei LST-Managementcenter (LMC) m:n Zuordnung von Stellwerken und Bediensystemen durch definierte Bedienrelationen	<ul style="list-style-type: none"> • Flexible Zuordnung • Releasewechsel bei laufendem Betrieb • Effizienzerhöhung • Überwachung von zentralen und dezentralen Komponenten • Administration der Benutzerverwaltung 	<ol style="list-style-type: none"> 1. An zwei zentralen Standorten gibt es je ein LMC, die mit zentralen Systemen die Bedienrelationen und Zuordnungen definieren, die Benutzerverwaltung organisieren und Lenkpläne speichern und verteilen und die Systeme des iLBS überwachen. 2. Das schafft die Voraussetzung dafür, dass rein technisch alles von überall bedient werden kann. 3. Es wird möglich, im laufenden Betrieb auf andere Bedienstandorte zu wechseln, um z. B. einen Releasewechsel durchzuführen oder die Betriebsführung optimal zu gestalten. 4. Die Standortunabhängigkeit ist ein großer Zugewinn für eine effiziente Betriebsführung. 5. Die Flexibilität eröffnet die Möglichkeit für eine wohnortunabhängige Gewinnung neuer Bedienpersonale.
Integriertes Bediensystem mit integrierten Bedienplätzen	<ul style="list-style-type: none"> • Tageslicht-Arbeitsplatz • Einheitliche Oberfläche • Einheitliche Anzeigen • Anwenderfreundliche Bedienung mit großer Übersicht 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gestaltung freundlicher Bedienumgebungen und modernes Design mit Fenstertechnik, Drag&Drop und Panning und hoher Bedienkomfort erhöhen die Attraktivität des Fdl-Berufes. 2. Die Vereinheitlichung verringert den Schulungsbedarf.
Transfernetz	<ul style="list-style-type: none"> • Verfügbarkeit 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Über das Transfernetz kommunizieren alle angebotenen Systeme.

Tab. 1: Die Kernerfolge und Vorteile des iLBS

Technical solution	Target implementation	Meaning
A shift in security relevance through the application of the advanced AnSi/EiSi security procedures Non-Sil for the operating station's hardware (HW)	<ul style="list-style-type: none"> • Integrated operations • Simplified approval • Reduced HW costs • Availability 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Relocation creates the technical basis for integrating the peripheral systems. 2. Dispensing with safety responsibility at the operating level means that HW components such as monitors etc. are no longer subject to safety verification. This simplifies approval and enables the use of industry-standard COTS components. 3. Buying and replacing monitors will be easier and significantly cheaper. 4. This has positive effects on the lifecycle and availability
SCI-CC_LST	<ul style="list-style-type: none"> • Standardisation • HW neutrality independent of the manufacturer and design 	<ol style="list-style-type: none"> 1. We have a 100 % standardised interface between the interlocking and the operator. 2. It doesn't matter who manufactured the interlocking or whether this involves an ESTW or DSTW – the operation is always the same. 3. The SCI-CC interface standard and the associated independence from manufacturers opens up competition. 4. The SCI-CC_LST can be used to record data streams and thus perform significantly better fault analyses.
The iLBS central unit	<ul style="list-style-type: none"> • Independence from the manufacturer • Independence from the design 	<ol style="list-style-type: none"> 1. The implementation of new technical functions, which means that the safe signalling systems will remain unchanged, i.e. all the integrated sub-centres will operate in the same way externally. There are no operating differences for the dispatchers. 2. The iLBS can be used to operate both electronic and digital interlockings (ESTW, DSTW). 3. The iLBS can also be used to operate existing interlockings, meaning that even smaller interlockings can migrate into the new architecture. This enables sustainable investment for the future.
Central systems at two LSI Management Centres (LMC). m:n assignment of interlockings and operating systems through defined operating relations	<ul style="list-style-type: none"> • Flexible allocation • Release change during ongoing operations • Increased efficiency • Monitoring of centralised and decentralised components • Administration of user management 	<ol style="list-style-type: none"> 1. There is one LMC at each of the two central locations that use central systems to define the operating relationships and assignments, organise user administration and create and save driving plans. 2. This creates the prerequisites for ensuring that everything can be operated from anywhere in purely technical terms. 3. It is possible to switch to other operating locations during operations, e.g. to carry out a release change or to optimise the operational management. 4. Independence from the location is a major gain for efficient operational management. 5. This flexibility opens up the option of recruiting new operating personnel regardless of where they live.
An integrated operating system with integrated operating stations	<ul style="list-style-type: none"> • A daylight workstation • A uniform surface • Standardised displays • User-friendly operations with a great overview 	<ol style="list-style-type: none"> 1. The creation of friendly operating environments and a modern design with a high level of operator comfort increases the attractiveness of the dispatcher profession. 2. Standardisation reduces the need for training.
A transfer network	<ul style="list-style-type: none"> • Availability 	<ol style="list-style-type: none"> 1. All the connected systems communicate via the transfer network.

Tab. 1: The main successes and benefits of the iCOS

Datum	Örtlichkeit	Bau	Umsetzung Ziele
11/20	iUZ Seesen (Scheidt & Bachmann) Harz-Weser-Netz	Hochrüstung Sprint ESTW zu iUZ	<ul style="list-style-type: none"> Einheitliche und moderne Bedienoberfläche Tageslicht-Arbeitsplatz SCI-CC_LST
	iBS Göttingen (Scheidt & Bachmann) RBZ Göttingen	1. iBP und ein Reserve-iBP	
12/22	iUZ Göttingen (Siemens) Harz-Weser-Netz	Hochrüstung ESTW Weserbergland zu iUZ	<ul style="list-style-type: none"> Herstellerübergreifende Bedienung Multi-Hersteller-Integration Bedienrelationstabelle
	iBS Göttingen (Scheidt & Bachmann) RBZ Göttingen	2. iBP und ein Reserve-iBP	
09/23	LMC lokal RBZ Göttingen	LMC mit ZVD (SuB) und LPV (Thales)	<ul style="list-style-type: none"> Flexible Zuordnung Option für weitere Anbindungen Standortunabhängigkeit
	iUZ Kreiensen (Alstom) Bereich Nord	Hochrüstung ESTW Kreiensen zu iUZ (und ein Reserve-iBS in der iUZ)	
	iBS Hannover (Scheidt & Bachmann) BZ Hannover	zwei iBP	
	LMC Frankfurt am Main	LMC mit ZVD (SuB), LPV (Thales), NMS (SuB)	
	Transfernetz mit IT-Sec an allen beteiligten Orten	Kryptogesichertes Transfernetz	

Tab. 2: In drei Inbetriebnahmeschritten zur Umsetzung aller Ziele

Date	Location	Construction	Target realization
Nov 2020	iSC Seesen (Scheidt & Bachmann) Harz-Weser-Netz	Upgrade Sprint ELECTRONIC INTERLOCKING zu iSC	<ul style="list-style-type: none"> Standardised display of operation Daylight Dispatcher Workplace SCI-CC_LST
	iOS Göttingen (Scheidt & Bachmann) RBZ Göttingen	1. iOS	
Dec 2022	iSC Göttingen (Siemens) Harz-Weser-Netz	Upgrade ELECTRONIC INTERLOCKING Weserbergland zu iSC	<ul style="list-style-type: none"> cross-manufacturer operation Multi-vendor-Integration operation relation table
	iOS Göttingen (Scheidt & Bachmann) RBZ Göttingen	2. iOS	
Sep 2023	CMC lokal RBZ Göttingen	CMC with CDS (SuB) und CCA (Thales)	<ul style="list-style-type: none"> Flexible assignment Option for further participation location independence
	iSC Kreiensen (Alstom)	Upgrade ELECTRONIC INTERLOCKING Kreiensen zu iSC	
	iOS Hannover (Scheidt & Bachmann) BZ Hannover	2x iOS	
	CMC Frankfurt am Main	CMC with CDS (SuB) und CCA (Thales)	
	network with IT-Sec at all participating locations	Crypto-secured transfer network	

Tab. 2: The three commissioning steps implemented to achieve all the goals

Komponenten sowohl auf Bedien- wie auf Stellwerksebene agiert das iLBS als Gesamtsystem in neuer Architektur. Es besteht aus vier miteinander korrespondierenden Teilsystemen: dem integrierten Bediensystem (iBS) an den Bedienstandorten, der iLBS-Zentraleinheit (iLBS-ZE) in den integrierten Unterzentralen, den LMC an zwei zentralen Standorten und dem Transfernetz.

Das Transfernetz realisiert die Kommunikation aller angebotenen Systeme und regelt den Datenverkehr mittels standardisierter Schnittstellen. Die Schnittstelle zwischen Bedien- und Stellwerksebene (SCI-CC_LST) ist das Herzstück und wurde in aufwendiger Entwicklung gemeinsam mit allen beteiligten Herstellern zu 100 % standardisiert.

Die verschiedenen angebotenen Systeme wie Stellwerk, Zuglenkung, Zugnummernmeldeanlage und Bediensystem sprechen in dieser neuen Schnittstellensprache. Unter Anwendung neuer Sicherheitsverfahren gelingt die Verlagerung der Sicherheitsfunktionen aus der Bedienebene in die Stellwerksebene und damit ein wichtiger Paradigmenwechsel.

the operating and interlocking levels, the iCOS acts as an overall system with a new architecture. It consists of four corresponding subsystems: the integrated operating system (iOS) at the operating locations, the iCOS central unit at the integrated sub-centres (iSC), the CMC at two central locations and the transfer network.

The transfer network implements the communication between all the connected systems and regulates the data traffic via a standardised interface. The interface between the operation and interlocking levels (SCI-CC_LST) lies at the heart of the system and has been 100 % standardised during a complex development process involving all the participating manufacturers.

The various connected systems such as the signal box, train control system, train number reporting system and operating system all speak this new interface language. The safety functions have been transferred from the operating level to the interlocking level through the use of new safety procedures, thereby achieving an important paradigm shift.

Im Erklär-Video wird das Zusammenwirken der Teilsysteme ausführlich erläutert (QR-Code 1). Zusammengefasst erzielt die neue Technik wichtige Kernerfolge (Tab. 1).

1.2 Das schrittweise Vorgehen zur vollständigen Zielumsetzung

Um die Umsetzung der anspruchsvollen Ziele in der Komplexität zu verringern, wurde schrittweise vorgegangen. In der Region Nord erfolgten im Rahmen der DiB-Referenzimplementierung drei Inbetriebnahmen in einem Zeitraum von drei Jahren (Bild 2). Dies schaffte Raum, um Erfahrungen aus dem jeweils vorangegangenen Inbetriebnahme-Schritt zu sammeln und die Test- und Abnahmephasen sowie die daran anschließende Begleitung zu optimieren. Schritt für Schritt kamen Technik und Bereiche dazu, die entsprechenden Ziele wurden erreicht (Tab. 2, QR-Code 2).



QR-Code 1: Erklärvideo zum Zusammenspiel der Teilsysteme

QR-Code 1: An explanatory video on the interaction of the subsystems



QR-Code 2: Projektvideo zu den drei Inbetriebnahmen

QR-Code 2: A project video about the three commissioning steps

2 Das iLBS in der Betriebserprobung

Einer der wesentlichen Ansprüche an das neue Bediensystem ist es, die Fahrdienstleiter (Fdl) mit einer stabilen und zuverlässigen Technik bestmöglich zu unterstützen.

Der Ersteinsatz einer völlig neuen Technik birgt Besonderheiten und Ungewissheiten. Allen Beteiligten war klar, dass die Inbetriebnahmen gut begleitet werden müssen. Für das iLBS hieß es: Nach dem Start in Göttingen und Hannover befand sich das System jeweils in verschiedenen Betriebserprobungen.

Die Betriebserprobung hat eine besondere Bedeutung. Keine Laborsituation kann den tatsächlichen Betrieb ersetzen. Obwohl alle zu erprobenden Komponenten in Integrations- und Testumgebungen (ITU) vom Hersteller sowie im Rahmen der Fachtechnischen Abnahme vom Betreiber getestet wurden und zudem noch im Rahmen der Abnahmeprüfung Funktionstests durchgeführt wurden, war man auf Unregelmäßigkeiten eingestellt. Erst bei laufendem und starkem Betrieb zeigen sich Abweichungen vom geforderten Systemverhalten und offenbaren sich bislang unentdeckte Fehler.

Es brauchte die Praxis. Fdl und Instandhaltung vor Ort lieferten wertvolle Beobachtungen für weiterführende Analysen, um schlussendlich zu einem stabilen System zu kommen und Erkenntnisse für Weiterentwicklungen zu gewinnen.

Aus verschiedenen Perspektiven wurde parallel gearbeitet – an konkreten Mängelbeseitigungen, an technischen Verbesserungen sowie an ergonomischen Aspekten.

2.1 Die technischen Betrachtungen

Die Dauer der Erprobung nach der dritten Inbetriebnahme war noch einmal auf neun Monate festgelegt. Sie bezog die verschiedenen Standorte mit ein, sodass ausreichend viele Bedienhandlungen in verschiedensten betrieblichen Gegebenheiten durchgeführt und beobachtet werden konnten.

The way the subsystems interact is explained in detail in the explanatory video (QR-Code 1). The new technology has brought some important successes (tab. 1).

1.2 The steps to a complete implementation

A step-by-step approach was adopted to reduce the complexity. Three commissioning steps took place over a period of three years in the northern region as part of the reference implementation (fig. 2). This created space to gather experience from the previous commissioning steps and optimise the test and acceptance phases, as well as the subsequent support. Technology was added step by step and the corresponding goals were achieved (tab. 2, QR-Code 2).

2 The iCOS in trial operations

One of the key requirements for the new operating system is the provision of the best possible support for the dispatchers with stable and reliable technology.

The launch of a completely new technology involves special features and uncertainties. It was clear to everyone that the commissioning steps had to be well supported. For iCOS, this meant that the system underwent various operational trials after the launches in Göttingen and Hannover.

An operational trial is of particular importance. No laboratory situation can replace actual operations. Even though all the components had been tested in the manufacturer's various integration and test environments and in functionality tests as part of the operator's technical acceptance process, irregularities were expected. Any deviations from the required system behaviour and previously undetected errors only become apparent during ongoing and heavy operations.



Bild 2: Drei Inbetriebnahmen in der Region Nord

Fig. 2: The three commissioning steps in the northern region

Quelle / Source: DB AG Projekt DiB

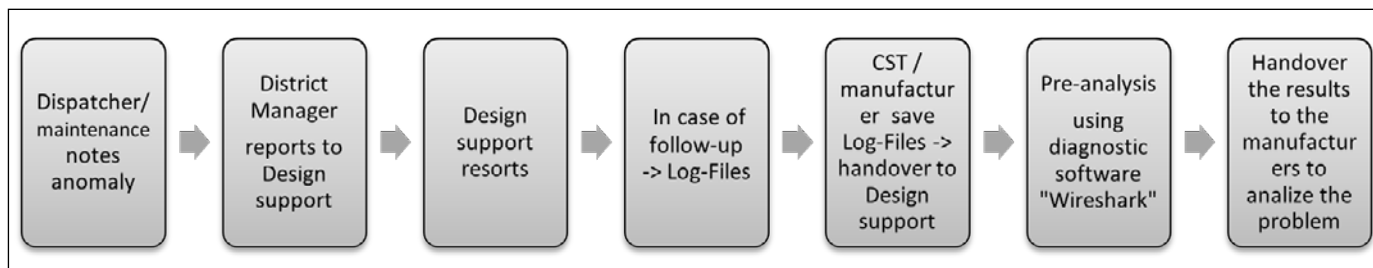


Bild 3: Workflow zur Fehleranalyse in der Betriebserprobung

Fig. 3: The analysis workflow in the operational testing phase

Quelle / Source: DB AG Projekt DiB

Um von der Beobachtung zur Korrektur zu kommen, wurde ein zielorientierter Prozess etabliert. In regelmäßigen wöchentlichen Meetings zwischen Betrieb, Instandhaltung und dem Team der Entwicklung fand ein Austausch zu den gemachten Erfahrungen statt. Unregelmäßigkeiten und Störungen wurden in dieser Runde diskutiert und weiterverfolgt. Als Grundlage entstand ein Workflow, in dem alle Auffälligkeiten zeitnah an das verantwortliche Team der Systementwicklung und Bauartbetreuung (BAB) kommuniziert wurden (Bild 3).

Das Neue an diesem Vorgehen ist, dass die Untersuchungen von der Systementwicklung und BAB, die bei der DB InfraGO AG in einem Team gebündelt ist, selbst durchgeführt werden können.

Über die SCI-CC_LST können Datenverkehre mitgeschnitten und dadurch aufschlussreiche Analysen des Datenstroms zwischen Stellwerk, iLBS-ZE und Bediensystem sowie der Kommunikation zwischen den Teilsystemen durchgeführt werden. Mittels Analyse-Software werden Datenprotokolle so aufbereitet, dass man sowohl die Schnittstellenimplementierung überprüfen als auch die Telegrammstrukturen auslesen kann. Unter Verwendung einer Scriptsprache lassen sich die aufgenommenen Schnittstellenprotokolle in eine „menschenslesbare“ Form übersetzen. Dadurch ist eine nachvollziehbare Auswertung möglich. Log-Abzüge von Datenfiles können von allen beteiligten Systemen veranlasst werden. So sind beispielsweise Verbindungsverluste konkret verortbar und Fehlerquellen eindeutig identifizierbar.

Zeigen die Analysen Softwarefehler im iLBS, finden Korrekturen statt, die im regulären Prozess Anpassungen in Lastenheften bewirken oder neue Projektierungen anstoßen und/oder schlussendlich zu neuen Software-Release-Einspielungen führen.

Es war jedoch nicht selten der Fall, dass die Störungsmeldung zwar am Bedienplatz auflief, aber die Ursache außerhalb des Systems lag. So gab es z. B. zeitweise eine Flut von Störungsmeldungen zu einer bestimmten Verbindung. Nach aufwendiger Analyse stellte man fest, dass eine Beeinflussung durch die Oberleitung und ein Fehler am Kabel ursächlich waren. Die Behebung des Fehlers wurde veranlasst.

Mit diesen genauen Analysen können die Fehlerquellen nicht nur gefunden, sondern auch richtig zugeordnet werden. Wurden früher die Störungen, die am Bedienplatz aufliefen, meist dem Bediensystem zugeschrieben, findet man heute die wirklichen Verursacher. Dies ist ein wichtiger Zugewinn für eine genauere Erhebung von Verspätungsquellen.

In der Summe hat die Betriebserprobung gezeigt, dass das iLBS als Gesamtsystem stabil und zuverlässig funktioniert und zudem sehr gut bei den Anwendern ankommt.

Die wenigen offenen Punkte aus der Betriebserprobungsliste sind zum Teil Verbesserungsvorschläge, die untersucht und teilweise in ergonomischen Betrachtungen weiterverfolgt werden.

2.2 Die ergonomischen Betrachtungen

Auch wenn mit dem iLBS bereits erhebliche Bedienvorteile realisiert sind, beschreitet man in ergonomischen Betrachtungen, die

This requires experience from real operations. The dispatchers and maintenance provided valuable observations for further analyses to ultimately arrive at a stable operating system and gain insights into further developments.

The investigations were carried out in a number of ways.

2.1 Technical considerations

The duration of the trial after the third commissioning step was set at nine months. It included various locations so that enough acts of system operation could be carried out and observed under a wide range of operating conditions.

A target-oriented process was established to move from observation to correction.

A regular exchange of experiences took place at weekly meetings between operations, maintenance and the development team. Any irregularities and faults were discussed and followed up in this group.

A workflow was created as the basis for the prompt communication of all the anomalies to the responsible system development and design support team.

The novelty of this approach lies in the fact that the investigations can be carried out by both the system development and design support teams, which have been bundled into a single team at DB InfraGO AG.

The new interface can be used to intersect the data traffic and thus to carry out informative analyses of the data flow between the interlocking and the operating system and all the communication between the subsystems. The analysis software prepares the data protocols in such a way that the interface implementation can be checked and the telegram structures can be read out. The recorded interface protocols can be translated into a “human-readable” form using a scripting language. This enables a comprehensible evaluation. Log extracts from data files can be initiated by all the systems involved. As such, any connection losses can be located and error sources can be clearly identified.

If the analyses reveal any software errors in the iCOS, corrections will follow.

On the other hand, it was not uncommon for the cause to lie outside the system. For example, there was a flood of fault messages for a particular connection at times. After extensive analysis, it was determined that this was caused by interference from the overhead line and a fault in the cable.

The use of these precise analyses means that the sources of any failures can not only be found, but also correctly assigned. In the past, failures that occurred at the operator station were usually attributed to the operating system, but the real causes can now be identified. This is an important gain for the more precise determination of the sources of delays.

weit über die eigentliche Betriebserprobung hinaus gehen, einen weiteren zusätzlichen Weg. Neben den technischen Aspekten werden auch Verbesserungsvorschläge, Gebrauchstauglichkeit (usability) und Wünsche seitens der FdI aufgenommen und weiterverfolgt. Ziel ist es, Praxiserfahrungen mit wissenschaftlichen Erkenntnissen zusammenzuführen, um Optimierungsmöglichkeiten zu identifizieren.

In der zunehmend technisierten und digitalen Arbeitswelt entsteht immer mehr Mensch-Maschine-Interaktion. Der integrierte Bedienplatz (iBP) als hochkomplexe Bedienkonsole ist eine solche Mensch-Maschine-Schnittstelle. Bedenkt man, dass perspektivisch mehr als 1500 iBP den Verkehr regeln werden, sprechen wir von einer enormen Anzahl an Mitarbeitenden, die buchstäblich die neue „Technik zum Anfassen“ erleben.

Um die Modernität in der Bedienung zu bewahren und auf der Höhe der Zeit zu bleiben, braucht es diese fortlaufenden Untersuchungen. Hierzu finden parallele Betrachtungsstränge statt.

2.2.1 Heuristische Evaluierung

Eine heuristische Evaluation ermöglicht objektive Aussagen über die Benutzerfreundlichkeit eines Systems. An integrierten Testumgebungen (ITU) fanden mit dem neuen Bediensystem Usability-Untersuchungen statt. Anhand von allgemein gültigen Prinzipien für gutes Interaktionsdesign (Heuristiken), wurde die Performanz des Systems beurteilt. Wenn diese Heuristiken, wie z.B. Nutzerkontrolle, Beständigkeit, Hilfestellung usw., eingehalten sind, hat man eine

In the end the operational testing phase has shown that the iCOS functions stably and reliably as an overall system and has also been very well received by its users.

Some of the few remaining open points from the operational test list involve suggestions for improvements that are being investigated and in some cases are being followed up in ergonomic considerations.

2.2 Ergonomic considerations

Even though the iCOS has already achieved considerable operating advantages, ergonomic considerations that far exceed the actual operational testing are being taken a step further. In addition to the technical aspects, any suggestions for improvements and utility and requests from the dispatchers are also taken on board and followed up. The aim is to combine practical experience with scientific findings in order to identify opportunities for optimisation.

More and more human-machine interaction is emerging in the increasingly technological and digital world of work. The integrated operating station (iOS) is one such human-machine interface in its capacity as a highly complex operating console. Considering that more than 1500 iOS will control traffic in the future, we are talking about an enormous number of employees who will literally experience the new “technology at their fingertips”.

Ongoing studies are needed to maintain the modernity of systems operation and help it keep pace with the times.

ZUVERLÄSSIGE ZEITSYNCHRONISATION für digitale Bahninfrastruktur und Schienenfahrzeuge



hopf Time and Frequency
Solutions

Expertise für Zeitsynchronisation
seit mehr als 50 Jahren



www.hopf.com | sales@hopf.com



Bild 4: Human-Factors-Experte im Team der Systementwicklung im Gespräch mit Fdl vor Ort

Fig. 4: A human factors expert in conversation with the dispatchers

Quelle / Source: Anke Wiedenroth

gute Gebrauchstauglichkeit. Entdeckte Verbesserungspotenziale werden weiterverfolgt.

So hat sich beispielsweise offenbart, dass sich bei einer gewissen Fensterabfolge im Dialog automatisches Schließen anbieten würde oder an anderer Stelle für die Bedienung Suchmasken vorteilhafter wären.

2.2.2 Qualitative Befragung der Fdl

In Ergänzung zu der heuristischen Evaluierung finden Interviews vor Ort statt, in dem die Fdl mit ihre persönliche Einschätzung gebeten werden. Hierzu wurden zwei Fragebögen entwickelt.

Fragebogen 1 folgt der ISO 9241, die die Richtlinien für die Gebrauchstauglichkeit und Ergonomie interaktiver Systeme definiert. Beim Ausfüllen des Fragebogens sollen die Fdl bestimmte Aufgaben, wie „Fahrstraße einstellen oder auflösen“, „Merkinweise eingeben oder löschen“ usw., vor Augen haben. Zu Themenblöcken wie Individualisierbarkeit, Fehlertoleranz, Erwartungskonformität u. a. gibt es Fragen, die die Fdl mit ja, nein oder trifft nicht zu beantworten. Dieses Vorgehen ermöglicht das Identifizieren von Schwachstellen, die einem bewusst gar nicht mehr auffallen. Man findet heraus, bei welchen Tätigkeiten die Software Schwierigkeiten bereitet oder welche Arbeitsschritte unpraktisch sind.

Fragebogen 2 dient zur persönlichen Selbsteinschätzung der Beanspruchung bei der Interaktion mit dem iBS. Er basiert auf einer Anwendung vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) zur Untersuchung der Beanspruchung in hochautomatisierten Mensch-Maschine-Systemen. Anhand von Kriterien wie Informationsaufnahme, Entscheidungsfindung, Anstrengung u. a. können die Fdl ihren Beanspruchungszustand angeben, indem sie zwischen sehr stark – Optimum – sehr niedrig skalieren.

Durch diese Art von Befragungen findet man heraus, wo die Technik im Empfinden den Fdl unterstützt oder welche Funktionalitäten eventuell noch sinnvoll wären (Bild 4).

Die gesammelten Erkenntnisse aus den ergonomischen Betrachtungen werden im Entwicklungsteam diskutiert, mit dem zentralen Betrieb abgestimmt und für das weitere Vorgehen priorisiert.

In der Beurteilung, was schlussendlich realisiert werden kann, unterstützt u. a. auch die Umsetzung zur Prototyp-Software. Mittels eines Design-Tools wird die Bedienoberfläche mit diesen neuesten Erkenntnissen immer wieder überarbeitet.

2.2.1 The heuristic evaluation

A heuristic evaluation enables objective statements to be made about the utility of a system. Utility tests have been carried out with the new operating system in integrated test environments (ITE). The system's performance was assessed based on generally applicable principles for good interaction design (heuristics). If these heuristics, such as user control, consistency, assistance, etc., are adhered to, the utility is good. Any potential for discovered improvement is then followed up.

For example, it has become apparent that automatic closing would be a good idea for a certain sequence of windows in the dialogue or that the search masks would be more advantageous elsewhere for the systems operation.

2.2.2 Qualitative interviews with the dispatchers

In addition to the heuristic evaluation, interviews asking the supervisors for their personal assessment were conducted on site. Two questionnaires have been developed for this purpose.

Questionnaire 1 follows ISO 9241, which defines the guidelines for the utility and ergonomics of interactive systems. When completing the questionnaire, the operators should have certain tasks in mind, such as setting or resolving routes, entering or deleting instructions, etc. There are questions on topics such as customisability, fault tolerance, conformity with expectations, etc., which the dispatchers have to answer with yes, no or don't apply. This procedure makes it possible to identify any weaknesses that are no longer consciously noticed. It is possible to ascertain which activities are subject to difficulties caused by the software or which work steps are unpleasant.

Questionnaire 2 is used for personal self-assessment of the demands when interacting with the iOS. It is based on an application from the German Aerospace Centre (DLR) used to investigate stress in highly automated human-machine systems. The operators can indicate their stress levels by scaling between very high – optimum – very low based on criteria such as information intake, decision-making, effort, etc.

This type of survey is used to find out where the technology supports the dispatchers' perception or which functionalities might still be useful (fig. 4).

Es ist beachtlich, wie viele Ideen und Expertise in die Gestaltung von modernen Bedienoberflächen fließen.

3 iLBS – ein kurzer Ausblick mit Perspektive

Ergonomisches Vorgehen ergänzend zu den technischen Entwicklungen verdeutlicht, dass bei dem iLBS alles auf Weiterentwicklung eingestellt ist. Es ist nicht nur das Bediensystem der Zukunft, sondern auch ein Bediensystem mit Zukunft.

Der unmittelbar nächste Entwicklungsschritt ist die Integration der ETCS-Bedienung. Die Lastenhefte sind geschrieben, die Entwicklung läuft. Eine Bedienoberfläche hierzu ist im Entstehen.

Fortlaufend werden mit Folge-Releases weitere Umsysteme dazukommen. Insgesamt birgt der Einsatz des heutigen und der künftigen iLBS viel Potenzial. Es ermöglicht zum einen eine neue Generation von FdI-Arbeitsplätzen an flexiblen Standorten mit anwenderfreundlicher Bedienung und eröffnet damit die Chance, den FdI-Beruf attraktiver werden zu lassen.

Im Betrieb wird man aufgrund der neu gewonnenen Flexibilität künftig effizienter auf Verkehrslagen reagieren können. In der Instandhaltung können Releasewechsel im laufenden Betrieb durchgeführt werden, was weniger Sperrpausen hervorruft und den Zeitdruck beim Tausch verringert. Dies wird sich positiv auf die Qualität auswirken. Zudem ist es mit der neuen Schnittstelle möglich, die Fehlerquellen eindeutig zu identifizieren. Zum anderen fungiert das iLBS als Türöffner für eine flächendeckende Migration hin zur Digitalen Schiene Deutschland (DSD). Im Dreiklang DSTW-ETCS-iLBS ist die notwendige Basis-Technologie geschaffen.

The results are discussed by the development team, coordinated with central operations and prioritised for the following procedure. The assessment of what can ultimately be realised is also supported by the implementation of the prototype software. The user interface is continually revised in line with the latest findings using a design tool. It is remarkable how many ideas and how much expertise flow into the design of modern user interfaces.

3 iCOS – a brief look at the future

Ergonomic procedures in addition to technical developments clearly show that everything about the iCOS is geared towards further development. It is not only the operating system of the future, but also an operating system with a future.

The next immediate development step involves the integration of ETCS operations. The specifications have already been written and development is underway. A user interface is being developed for this.

Further peripheral systems will be added on an ongoing basis with subsequent releases. Overall, the use of the current and future iCOS holds significant potential. On the one hand, it enables a new generation of dispatcher workstations at flexible locations with user-friendly handling. This constitutes an opportunity to make the dispatcher profession more attractive.

The newly gained flexibility means that it will be possible to react more efficiently to traffic situations in the future. During maintenance, release changes can be carried out during opera-

Steuern, stellen, sichern.



Scheidt & Bachmann – innovative Sicherheitstechnologie seit 1872.

- Betriebsleittechnik
- Stellwerkstechnik
- Bahnübergangstechnik

Bild 5: Auszug aus geplanten iLBS-Folgeprojekten

Fig. 5: An excerpt from the next planned iCOS-projects Quelle / Source: Anke Wiedenroth



Darüber hinaus kann auch für den Bestand nachhaltig investiert werden, indem selbst kleinere ESTW bereits auf das iLBS migrieren können und somit für die Zukunft optimal vorbereitet werden. Entsprechend stehen in den kommenden Jahren viele iLBS-Inbetriebnahmen an (Bild 5).

4 Zusammenfassung

Anfangen mit drei Inbetriebnahmeschritten der Referenzimplementierung wird perspektivisch von mehr als 1500 Bedienplätzen der Bahnverkehr mit dem neuen integrierten Bediensystem geregelt. Eine enorme Anzahl an Mitarbeitenden wird an dieser Mensch-Maschine-Schnittstelle an modernen Tageslicht-Arbeitsplätzen arbeiten. Mit dem iLBS entsteht ein Bediensystem, das eine einheitliche, anwenderfreundliche, integrierte Bedienung im neuen Design schafft. Durch Standardisierung und Zentrale Systeme realisiert das iLBS Hardware- und Bauformunabhängigkeit und bietet somit Möglichkeiten zur Erhöhung der Flexibilität, Effizienz und Senkung der Kosten. Zudem öffnet die Herstellerunabhängigkeit den Wettbewerb.

Mit dem iLBS haben wir eine innovative und zukunfts offene Technik, die entsprechend funktional ist und die Fdl begeistert. Wir können sowohl neue Digitale Stellwerke (DSTW) als auch herkömmliche Elektronische Stellwerke (ESTW) bedienen, wodurch Investitionen nachhaltig möglich sind.

Das eindeutige Fazit lautet: Mit dem iLBS gelingen entscheidende Schritte zur Erhöhung der Qualität im Betrieb, zur optimalen Anwenderfreundlichkeit und für die Umsetzung der Strategie der DSD. Das iLBS ist das Bediensystem mit Zukunft. ■

AUTOR | AUTHOR

Dipl.-Verw.-Betriebsw. Anke Wiedenroth, MBA
 Bauverantwortung Leit- und Meldeanlagen systeme (LMS) /
 Construction management control and signaling systems
 DB InfraGO AG
 Anschrift / Address: Caroline-Michaelis-Straße 5-11, D-10115 Berlin
 E-Mail: anke.wiedenroth@deutschebahn.com

tions, which will result in fewer shutdowns and reduce the time pressure during replacement. This should have a positive impact on quality. The new interface also makes it possible to clearly identify the sources of any errors.

On the other hand, the iCOS has opened the door for the nationwide migration to the digital future. The DSTW-ETCS-iCOS triad provides the necessary basic technology.

In addition, sustainable investments can also be made for the existing fleet, as even smaller electronic interlocking systems can already migrate to the iCOS and are thus optimally prepared for the future. Accordingly, many iCOS start-ups have been scheduled for the coming years (fig. 5).

4 Summary

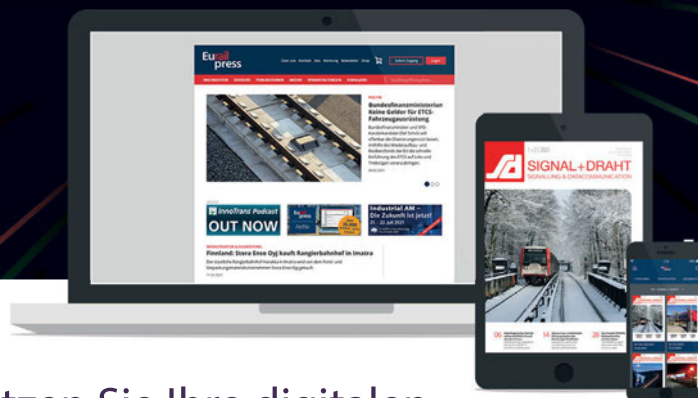
More than 1500 operator stations will control rail traffic with the newly integrated operating system starting with the three commissioning steps in the reference implementation. An enormous number of employees will work with this human-machine interface at modern daylight workstations. The iCOS is an operating system that has created a uniform, user-friendly, integrated operating system in a new design. The iCOS has utilised standardisation and central systems to realise hardware and design independence and offer options for increased flexibility and efficiency and reduced costs. In addition, the manufacturer independence opens up competition.

The iCOS is an innovative, future-oriented technology that works and inspires dispatchers. We can operate both new digital interlockings (DSTW) and conventional electronic interlockings, which makes sustainable investments possible.

The clear conclusion is that decisive steps have been taken to increase the quality of operations, optimise user-friendliness and implement the Digital Rail Germany strategy with the iCOS. The iCOS is an operating system with a future. ■

DIGITAL

IST EINFACH SCHNELLER



Nutzen Sie Ihre digitalen
SIGNAL+DRAHT-Services
und -Leistungen und lesen Sie bereits
am Vortag die Neuigkeiten von morgen.

JETZT FREISCHALTEN

www.eurailpress.de/sd-digital



Visuelle Detektion beliebiger Hindernisse im Gleisbett mit skalierbarer Empfindlichkeit für ATO

The visual detection of obstacles in the track bed with scalable sensitivity for ATO

Daniele Capriotti | Christian Robl | Darius Burschka

Die visuelle Detektion von Hindernissen im Gleis erfordert bei hoher Geschwindigkeit eine sichere Erkennung in großen Entfernungen, wobei beliebige, unbekannte Hindernisse detektiert werden müssen. Datenbasierte Lernverfahren erfordern keine Spezifikation der Art der Verarbeitung, die automatisch erfolgt, aber Beispiele von möglichen Hindernissen, um sie zu erkennen. Unser Ansatz setzt dagegen auf modellbasierte Verarbeitung, die im Falle einer Bahnanwendung mit einem einfachen Modell der offenen planaren Bahnstrecke arbeitet und visuell auf Abweichungen achtet, ohne die Hindernisse vorher zu kennen.

1 Einführung

Die fortschreitende Automatisierung in der Bahntechnik und insbesondere auch die aktuellen Ansätze zu ATO (Automatic Train Operation) erfordern es, Hindernisse im Gleis automatisch zu erkennen. Bei Vollbahnen kann aufgrund der langen Bremswege nur die Aufprallgeschwindigkeit reduziert werden, oder die Hinderniserkennung kann als Trigger zur Dokumentation des Vorfalls dienen. Bei Straßenbahnen und Metros jedoch könnten Kollisionen durch automatisches Bremsen vermieden werden. Allerdings sind die Hindernisse, die im Gleis liegen oder hineinragen, vorab nicht bekannt, sodass bei der hohen Kritikalität eine Abfrage auf bestimmte Hindernisse nicht sinnvoll erscheint. Es müssen alle möglichen Hindernisse detektiert werden, also auch unbekannte Objekte, die zu einer Kollision führen können.

Die gängigen Detektionsverfahren können in zwei Kategorien unterteilt werden:

- die datenbasierten Ansätze
- die modellbasierten Ansätze.

Während die datenbasierten Ansätze, zu denen die meisten auf maschinellem Lernen basierten Verfahren gehören, keinerlei Vorauswahl der Berechnungsmethode erfordern, wird in den modellbasierten Verfahren das Bild mit einem meist geometrischen Modell verglichen. Somit eignen sich die datenbasierten Ansätze sehr gut zur Erkennung von bekannten Objekten, da je nach Objektbeschaffenheit Kanten oder Oberflächenmerkmale o.ä. angewandt werden müssen und diese Entscheidung vom Lernsystem übernommen wird. Jedoch sind diese Systeme weniger zur Identifikation von unbekanntem Objekten oder Abweichungen von einem Soll geeignet, weil diese Abweichungen und Fehler im Vorfeld trainiert werden müssen. Hier sind modellbasierte Verfahren von großem Vorteil, weil eine Abweichung vom Soll-Modell bereits zu einer Detektion führt, ohne dass die Objekte oder Fehler bekannt sein müssen.

Unser Verfahren basiert auf einem Vergleich der Bildinformation einer monokularen Videosequenz mit der Annahme einer freien planaren Fläche im Gleisbett vor dem Zug als geometrisches Modell.

The visual detection of obstacles on the track requires reliable detection at high speeds over large distances, whereby unknown obstacles must be detected. Data-driven learning techniques do not require any specification of the type of processing that occurs automatically, but do require examples of any possible obstacles so as to be able to identify them. Our approach, on the other hand, relies on model-based processing, which in the case of a railway application works with a simple model of an open, planar railway line and visually monitors any deviations without knowing the obstacles in advance.

1 Introduction

The increasing automation in railway technology and in particular the current approaches to ATO require the automatic detection of obstacles on the track. In the case of mainline trains, only the impact speed can be reduced or obstacle detection can be used as a trigger to document the incident due to the longer braking distances. However, collisions in trams and on underground railways could be avoided using automatic braking. There are obstacles on the track or that protrude onto it that are unknown and focussing only on known objects does not make sense due to the high degree of criticality. However, all possible obstacles must be detected, including any unknown objects that could lead to a collision.

The common detection methods can be divided into two categories:

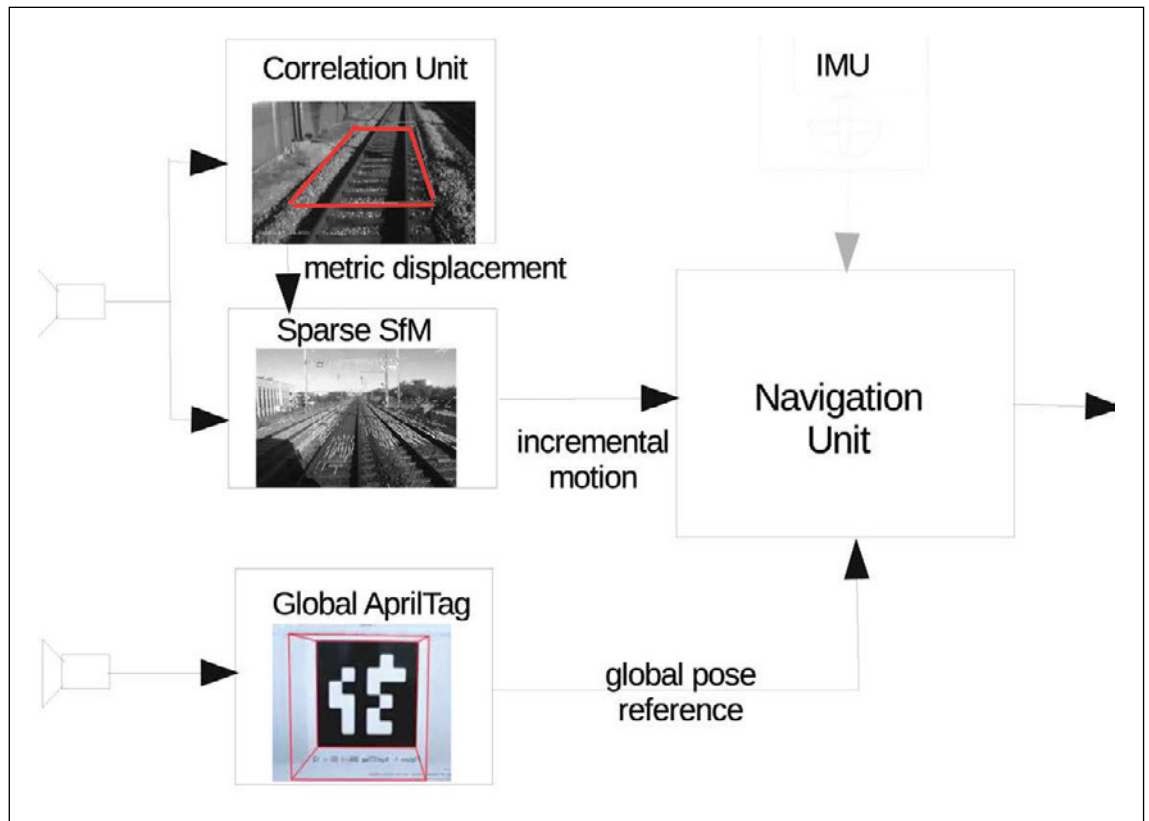
- data-driven approaches and
- model-based approaches.

While data-driven approaches, which include most machine learning-based methods, do not require any pre-selection of the calculation method, model-based methods compare the image with a mostly geometric model. Data-driven approaches are therefore highly suitable for recognising known objects, since a mixture of edges or surface features etc. has to be applied depending on the properties of the object and this decision is made by the learning system. However, these systems are less suitable for identifying unknown objects or deviations from a target, because said deviations and errors have to be trained in advance. Model-based methods are a great advantage here because any deviation from the target model leads to detection without the need for the objects or errors to be known in advance.

Our approach is based on a comparison of the image information from a monocular video sequence with the assumption of a free planar surface in the track bed ahead of the train as a geometric model.

Bild 1: Hybrides optisches System mit möglicher Unterstützung von einem Inertialsystem (IMU)

Fig. 1: A hybrid optical system with possible support from an inertial system (IMU) (SfM = Structure from Motion) Quelle / Source: M2C ExpertControl GmbH



2 Ansatz

Die videobasierte Detektion von Objekten im Gleisbereich aus großen Entfernungen stellt signifikante Herausforderungen an die Detektion im Kamerabild, da die räumliche Auflösung von binokularen 3D-Systemen quadratisch mit der Distanz z von der Kamera abnimmt. Während Kamerasysteme sehr gut im Nahbereich von 1-8 m dreidimensionale Information extrahieren können, sinkt die räumliche Auflösung mit der Entfernung so stark, dass in Entfernungen von über 20 m kaum noch feine 3D-Strukturen aufgelöst werden können. Das Problem lässt sich mit monokularen Ansätzen reduzieren, weil dort die Verschiebung zwischen den Kamerabildern variabel mit der vom Zug gefahrenen Strecke gewählt werden kann, wodurch sich die Empfindlichkeit linear verbessert. Das zweite Problem mit visueller Rekonstruktion ergibt sich aus der starken Selbstähnlichkeit der Bildbereiche, in welchen weitgehend das Schotterbett abgebildet wird.

Gemäß Bild 1 werden die Navigationsdaten des Zuges aus einem hybriden optischen System gewonnen, das von einem Inertialsystem (Inertial Measurement Unit – IMU) weiter unterstützt werden kann. Das obere System in Bild 1 berechnet die inkrementelle Bewegung zwischen den Bildern, während das untere künstliche Marken zur Driftkompensation benutzt.

Daher haben wir für die Navigation ein eigenes korrelationsbasiertes Verfahren entwickelt [2], welches die horizontale Veränderung eines lokalen Bereiches vor dem Zug (rotes Rechteck in Bild 1) in aufeinander folgenden Bildern berechnet, um daraus die Bewegung des Zuges zu ermitteln und gleichzeitig eine Inspektion des Gleisbetts durchzuführen. Dafür wird das Bild der Kamera in eine Top-View-Darstellung (Vogelperspektive) umgerechnet, aus der die relative Bewegung zwischen den Bildern durch einfache Überlagerung ermittelt werden und die gleichzeitig zur Inspektion des Gleisbetts dienen kann. Für eine 3D-Analyse müssen nun korrespondierende Bildelemente gefunden werden, aus deren Verschiebung ihre räumliche Entfernung berechnet

2 The approach

The video-based detection of objects in the track area at large distances poses significant challenges for the detection in the camera image, since the spatial resolution of binocular 3D systems decreases with the square distance z from the camera. While camera systems can extract three-dimensional information very well at a close range of 1-8 m, the spatial resolution decreases so much with distance that hardly any fine 3D structures can be resolved at distances of over 20 m. The problem can be reduced using monocular approaches, because the shift between the camera images can be chosen to vary depending on the route travelled by the train so that the sensitivity improves linearly with the travelled distance. The second problem with visual reconstruction arises from the strong self-similarity of the image areas, in which the ballast underlay is largely depicted.

ebe Railway Systems

eberail.at

EBE SOLUTIONS

Innovative und digitale
Lösungen im Bereich
der Bahnübergangs-
und Sicherungstechnik

Besuchen Sie uns auf der InnoTrans 2024
Halle 25 / Stand 280

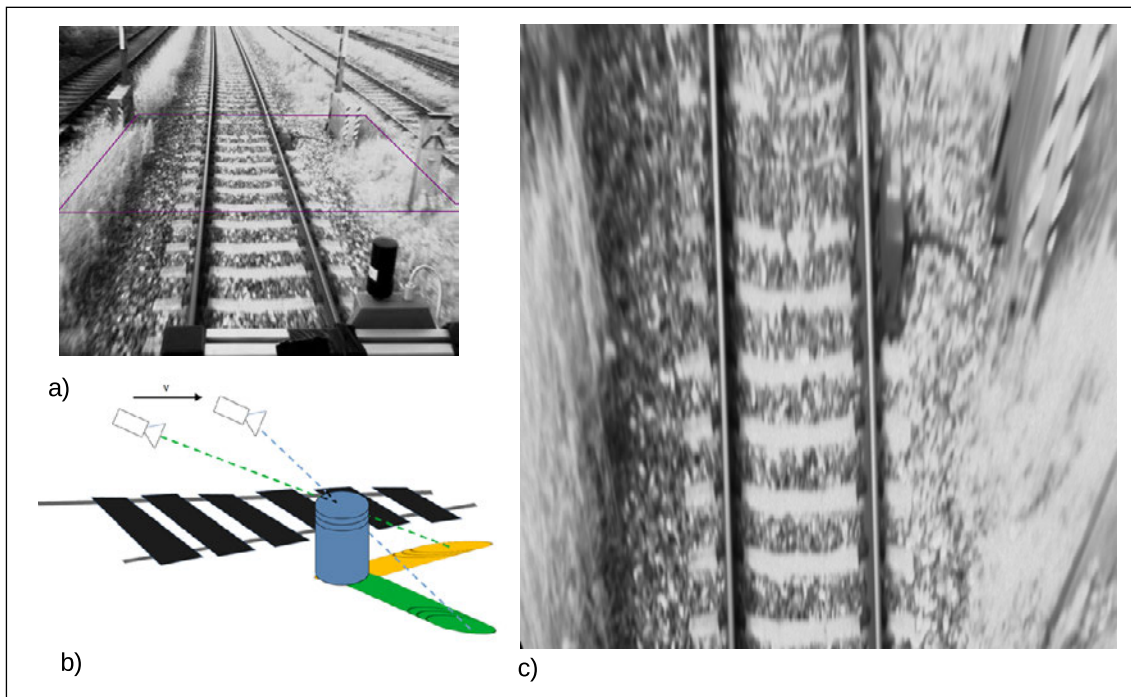


Bild 2: a) Originales Kamerabild, b) Erklärung der Top-View-Verzerrung, c) Hindernisansicht im Top-View

Fig. 2: a) The original camera image, b) An explanation of the top view distortion, c) An obstacle view in the top view. Quelle / Source: M2C ExpertControl GmbH

werden kann. Diese umständliche und sehr fehlerbehaftete Suche wird in unserem System auf einen Vergleich der projizierten Bodenbereiche aus unserem Navigationssystem zurückgeführt.

Bild 2a zeigt das originale Kamerabild und den daraus gewonnenen Top-View in Bild 2c. Die vom Grund abstehenden Hindernisse im Top-View bewegen sich in der Ebene des Gleisbetts aufgrund der „falschen“ Annahme über Planarität, wie es in der Prinzipskizze in Bild 2b anhand eines fiktiven zylinderförmigen Elements erklärt wird (gelb und grün sind dabei die angenommenen planaren Projektionen des fiktiven zylinderförmigen Elements). Das fiktive zylinderförmige Element in Bild 2b ist dabei nicht identisch mit dem zylinderförmigen Objekt in Bild 2a; bei Letzterem handelt es sich um ein am Triebfahrzeug verbautes Objekt und nicht um ein Hindernis im Gleisbett.

Bei dieser Projektion wird von einer ebenen Szene vor der Kamera ausgegangen, welche mithilfe der Montage-Parameter der Kamera am Zug in einen Top-View umgerechnet wird. Dabei werden Objekte, die sich vom Boden abheben, als ihre ebenen Projektionen aus dem aktuellen Kamerastandort angenommen, weil die Homographie-Berechnung (Top-View-Transformation) von einer Ebenen-Annahme ausgeht. Dies ergibt eine sich verändernde Verzerrung zwischen den Ansichten einer sich bewegenden Kamera (Bild 2b). Wenn man den Top-View von zwei Kameraansichten in ihrer horizontalen Veränderung aufgrund der Zugbewegung abgeglichen hat, kann die Analyse von nicht planaren Objekten folgen. Aus einem Paar von Top-Views aus zwei unterschiedlichen Standorten wird dabei ein Differenzbild der bewegungskompensierten Bilder berechnet. Für planare Szenen erreicht man hier eine Übereinstimmung der Bildinhalte. Nur Objekte, welche die Planaritätsannahme verletzen, verursachen eine signifikante Antwort in dem resultierenden Bild. Man sieht, dass senkrechte Bodenabweichungen als Bodenprojektionen entlang des Sichtstrahls erscheinen, die umso mehr voneinander abweichen, je höher das Objekt vom Boden abweicht und je weiter sich die Kamera zwischen den beiden Aufnahmen bewegt hat. Es ist ein sehr mächtiger Indikator, der zur Detektion von Objekten im Gleis dienen kann.

Man muss jedoch berücksichtigen, dass mit zunehmender Entfernung zum Zug diese Divergenz immer kleiner wird, sodass man den Bildabstand vergrößern muss.

According to fig. 1, the train’s navigation data is obtained from a hybrid optical system, which can be further supported by an inertial system (IMU). The upper system in fig. 1 calculates the incremental movement between the images, while the lower one uses artificial markers to compensate for drift.

Therefore, we have developed our own correlation-based method for navigation [2], which detects any shift in the local area in front of the train (the red rectangle in fig. 1), which is calculated between consecutive frames in order to determine the motion of the train, while a simultaneous track bed inspection is also carried out. The image from the camera is converted into a top view from which the relative movement between the images can be determined by means of a simple overlay, which is used to inspect the track beds at the same time. Corresponding image elements must be found for a 3D analysis and the vertical height can be calculated from their displacement. This cumbersome and highly error-prone search method is reduced in our system to a comparison of the projected ground areas from our navigation system.

Fig. 2a shows the original camera image and the resulting top view in fig. 2c. The projection of obstacles erecting from the ground in the top view move in the plane of the track bed due to the “wrong” assumption about planarity as basically explained in the sketch in fig. 2b based on a fictitious cylindrical element (yellow and green are the assumed planar projections of the fictitious cylindrical element). The fictitious cylindrical element in fig. 2b is not identical with the cylindrical object in fig. 2a; the latter is an object installed on the locomotive and it is not an obstacle in the track bed.

This top view projection assumes a flat scene in front of the camera, which is calculated using the camera’s mounting parameters on the train. Objects that stand out from the ground are calculated using their plane projections from the current camera location because the homography calculation (top view transformation) assumes a planar structure. This results in a changing projection between the views of a moving camera (fig. 2b). If you align the top views of two consecutive camera frames in

Bild 3: Analysebereiche für die Verarbeitung in unterschiedlichen Entfernungen zur Kamera

Fig. 3: The analysis areas for processing at different distances from the camera

Quelle / Source:

M2C ExpertControl GmbH

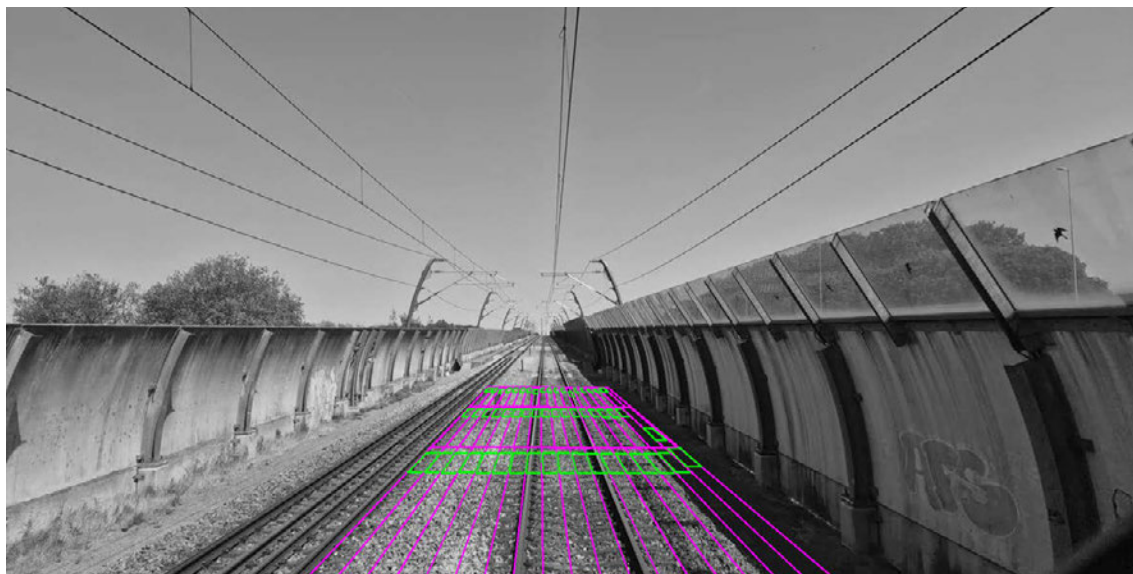


Bild 3 stellt Analysebereiche für die Verarbeitung in unterschiedlichen Entfernungen zur Kamera dar. Die 3D-Analyse der möglichen Hindernisse wird entfernungsabhängig mit unterschiedlichen Bildabständen vorgenommen. Für große Entfernungen der Hindernisse in der Szene müssen mehrere Bilder einer Videosequenz abgewartet werden, um eine ausreichende Empfindlichkeit des Systems zu erreichen. Hier muss zwischen der rechtzeitigen

their horizontal shift due to the train movement, the analysis of non-planar objects can follow. A difference image of the motion-compensated images is calculated from two different camera locations. For planar scenes, the image contents match. Only objects that violate the planarity assumption cause a significant response in the resulting difference image. You can see that vertical ground deviations appear as ground projections along the



www.bayka.de

INNOTRANS 2024

BESUCHEN SIE UNS

Halle 12 | Stand 130

NEU:



Havarie-
muffe

NEU:



Signalkabel-
muffe



Neue Muffen von

*Bayka*plus

**Innovative Kabellösungen
für Verkehrsinfrastrukturen**



Scan me

Vorwarnung (mit kleinerem Bildabstand, aber schlechterer räumlicher Auflösung) und einer genaueren Messung entschieden werden, welche größere Bildabstände erfordert, wodurch die Gefahremeldung verzögert wird.

2.1 Voraussetzungen

Das Kamerasystem dient als Messsystem, und somit müssen die (externen) Montage- und (internen) Projektionsparameter in einem Vermessungsschritt vor dem Einsatz bestimmt werden. Dies kann automatisch mithilfe eines Kalibrierkörpers (Schachbrettmuster) erfolgen.

Dabei werden die internen Projektionsparameter, wie Brennweite und Verzerrungskoeffizienten, dafür benutzt, um aus dem tatsächlichen Kamerabild eine Idealdarstellung zu gewinnen, in der jeder Pixel einer berechenbaren Beobachtungsrichtung entspricht. Dies ist wichtig, um aus der Divergenz der Hindernisprojektionen in Bild 2 korrekte Höhenschätzungen zu bestimmen, aber auch, um die Projektionen des Gleisbetts ideal abzugleichen, damit bei der Differenzbildung zur Hindernissuche keine Fehldetektionen durch Verzerrungen verursacht werden.

Die externen Parameter werden für die Umwandlung der gewählten Suchbereiche im ursprünglichen Feld des Kamerabildes in einen Top-View benutzt. In dieser Projektion kann man auch eine neue virtuelle Kamera definieren, die eine höhere Auflösung haben kann. Dabei wird keine zusätzliche Information über feine Strukturen generiert. Dieser Schritt erlaubt jedoch einen feineren Abgleich der horizontalen Veränderung der Ansichten aus aufeinander folgenden Bildern, die nun subpixel-genau abgeglichen werden können.

Es gibt gewisse Einschränkungen und Abhängigkeiten der internen Kamera-Parameter, die sich gegenseitig beeinflussen. So erfordert eine möglichst hohe Empfindlichkeit im Fernbereich der Kamera ein System mit einer Kamera mit langer Brennweite, weil damit die Winkelauflösung zwischen den einzelnen Pixeln des Bildes erhöht wird und die Divergenz zwischen den Projektionen gemäß Bild 2 schneller entdeckt wird. Andererseits schränkt eine lange Brennweite des Objektivs den Sichtbereich der Kamera stark ein. Man muss hier bereits in der Design-Phase einen Kompromiss schließen, sodass das relevante Umfeld komplett sichtbar bleibt, ohne unnötige seitliche Szenenelemente hinzuzunehmen. Die räumliche Auflösung der Kamera lässt sich durch einen

line of sight, which deviate more from each other the higher the object deviates from the ground and the further the camera has moved between the two images. This is a very powerful indicator that can be used to detect objects on the track.

However, one must take into account that this divergence becomes smaller and smaller with the increasing distance from the train, so it is necessary to increase the image distance.

Fig. 3 shows analysis areas for processing at different distances from the camera. The 3D analysis of possible obstacles is carried out with different frame distances depending on the distance from the train. Several frames of a video sequence must be skipped for large distances in order to achieve sufficient sensitivity in the system. A decision must be reached here between a timely advance alarming (with a smaller frame distance, but poorer spatial resolution) and a more precise measurement that requires a larger image distance between the frames meaning that the alarm might be delayed.

2.1 Requirements

The camera system serves as a measuring system and therefore the (external) assembly and (internal) projection parameters must be determined during the measurement setup. This can be done automatically using a calibration body (checkerboard pattern).

Internal projection parameters, such as focal length and distortion coefficients, are used to obtain an ideal representation from the actual camera image, in which each pixel corresponds to a calculable observation direction. This is important for determining correct elevation estimates derived from the divergence of the obstacle projections (fig. 2), but also to ensure that the track bed projections are ideally aligned so that no false detections are caused by distortions when forming the difference for the obstacle search.

The external parameters are used to convert the selected search areas in the original field of the camera image into a top view. In this projection, you can also define a new virtual camera, which can have a higher resolution. No additional information about the fine structures is generated. However, this step allows a finer adjustment of the shift between the views from successive images, which can now be compared with subpixel precision.

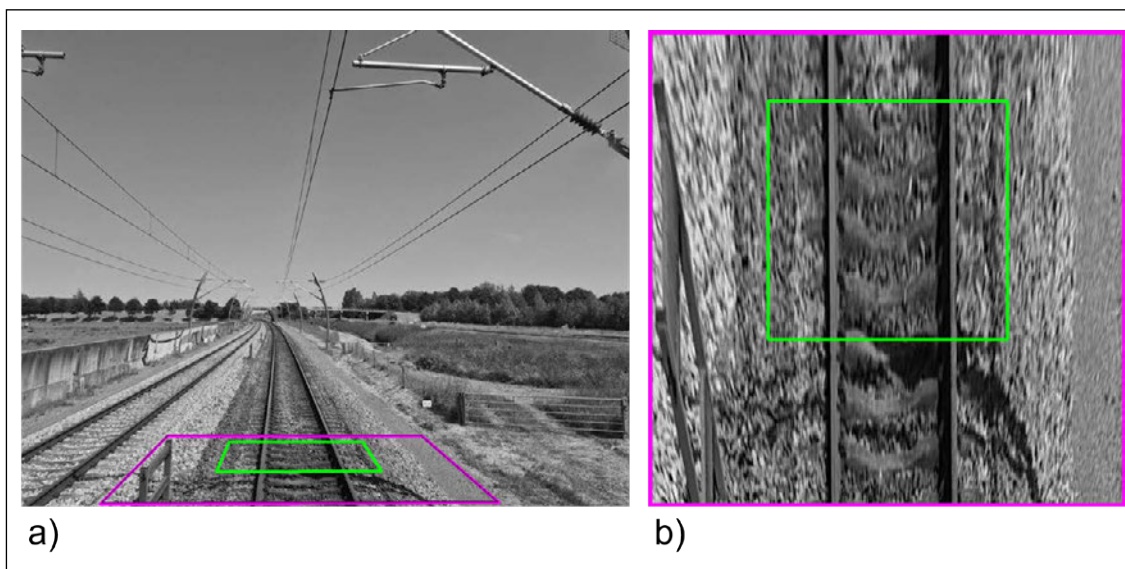


Bild 4: a) Kamerabild mit ausgewähltem Suchfenster (magenta) und Template (grün), b) Top-View des ausgewählten Suchfensters (magenta) und Template (grün)

Fig. 4: a) The camera image with the selected search window (magenta) and template (green), b) Top view of the selected search window (magenta) with the template (green) Quelle / Source: M2C ExpertControl GmbH

größeren Abstand zwischen den Bildern einer Videosequenz verbessern. Dies kann aber auch dazu führen, dass die Meldung über mögliche Gefahren verspätet vom System gesendet wird. Eine längere Brennweite kann wiederum dazu führen, dass Objekte im unmittelbaren Nahbereich der Kamera nicht mehr gesehen werden.

2.2 Bestimmung der Bewegungsparameter

Die Bewegungsparameter (Verschiebung und Rotation) werden durch den sogenannten „Template-Matching“ Algorithmus bestimmt. Bild 4a zeigt das von der Kamera aufgenommene Bild. Um den Vorlagenabgleich zwischen aufeinanderfolgenden Video-Frames durchzuführen, werden das Suchfenster (magenta) und das Template (grün) definiert. Bild 4b zeigt den berechneten Top-View des ausgewählten Suchfensters. Das Template aus dem vorherigen Frame (grün) wird durch das Suchfenster geschoben, um die beste Übereinstimmung zu finden. Die Pixelverschiebung zwischen dem Suchfenster und der Position des Templates ist proportional zur zurückgelegten Strecke und wird als Referenz für die Hinderniserkennung verwendet.

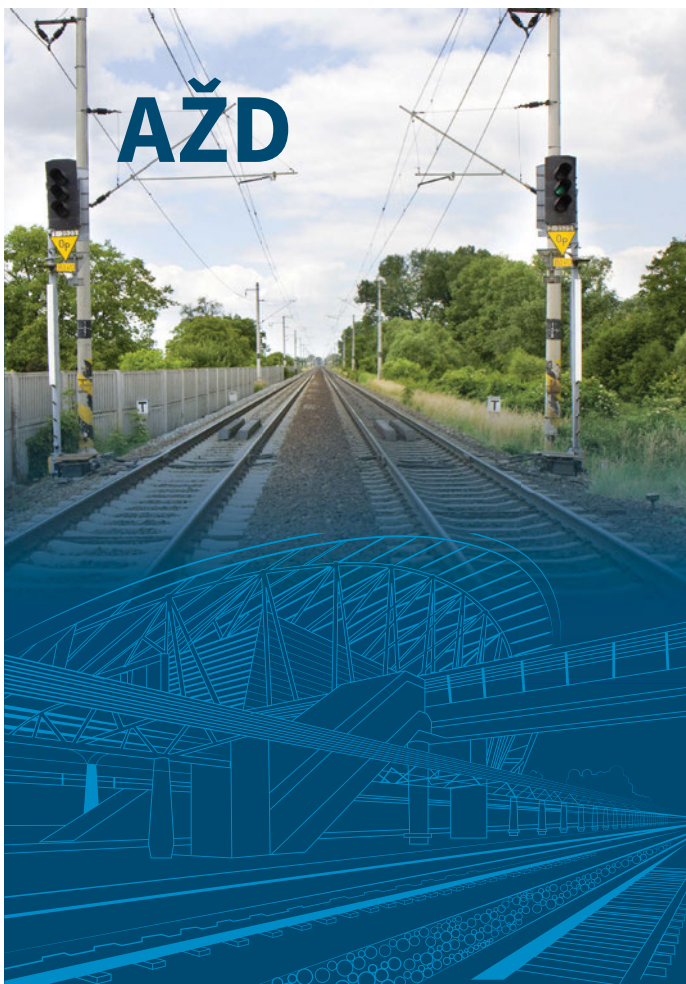
2.3 Verarbeitung

Das Bild einer Kamera lässt sich durch die sogenannte Homographie-Transformation in eine beliebig rotierte Darstellung umrechnen [1]. Diese Operation wird durch die Grafikkarten moderner Rechner und Edge-Computer unterstützt und kann in Echtzeit ohne große CPU-Belastung durchgeführt werden. Die anschließende Korrelation und Differenzbildung werden ebenfalls durch die Hardware

There are some limitations and dependencies of the internal camera parameters that influence each other. A system with a longer focal length provides higher sensitivity in the camera's long range, because it increases the angular resolution between the image's individual pixels and the divergence between the projections according to fig. 2 is discovered sooner. On the other hand, a long lens focal length severely limits the camera's field of view. A compromise has to be reached in the design phase, so that the relevant scene elements remain completely visible without adding any unnecessary side elements. The camera's spatial resolution can be improved by increasing the distance between the images in a video sequence. This results in a late system response with regard to possible hazards. A longer focal length can in turn mean that objects in the immediate vicinity of the camera can no longer be seen.

2.2 Determining the motion parameters

The motion parameters (translation and rotation) are determined by the so-called "template matching" algorithm. Fig. 4a shows the image captured by the camera. The search window (magenta) and the template (green) are defined in order to perform the template matching between the consecutive video frames. Fig. 4b shows the calculated top view image of the selected search window. The template from the previous frame (green) slides through the search window to find the best match. The pixel shift between the search window and the position of the template is proportional to the distance travelled and is used as a reference for obstacle detection.



VISIT US AT **INNOTRANS 2024**
Hall 27, stand 755

Traditional Czech supplier
of modern control and signalling
systems including ETCS

Safely to your destination



www.azd.cz

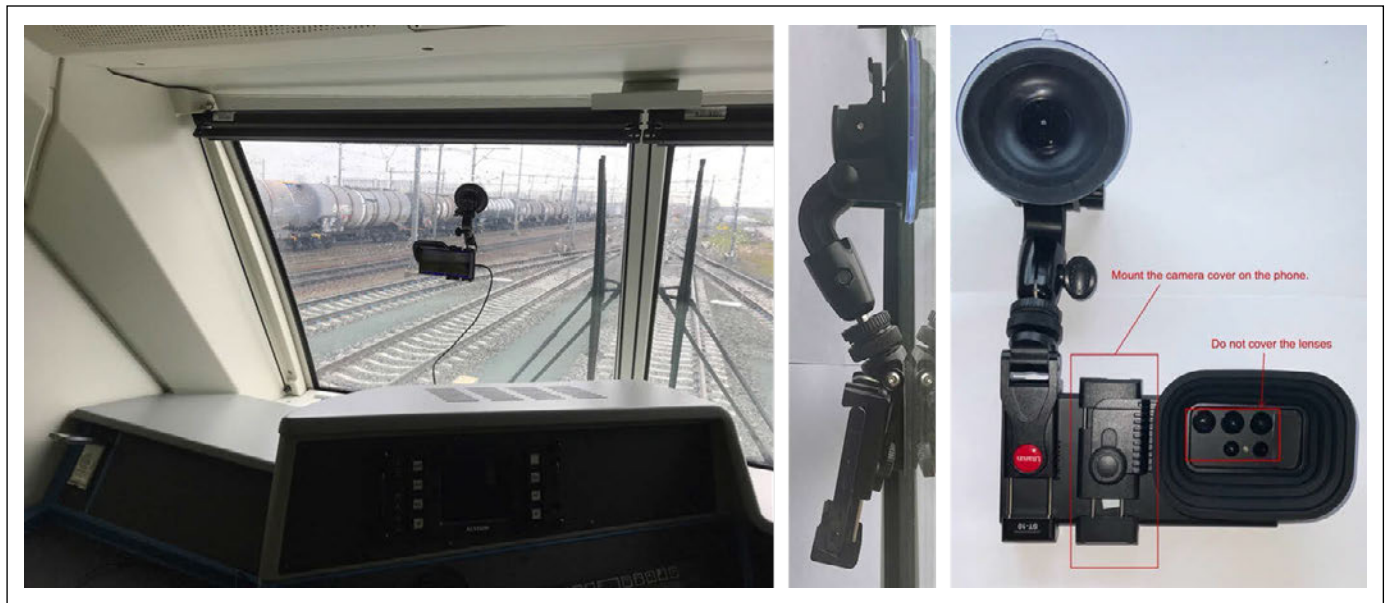


Bild 5: Einfache Montage des Kamerasystems im Führerstand

Fig. 5: Easy installation of the camera system in the driver's cab

Quelle / Source: M2C ExpertControl GmbH

unterstützt. Damit ist die vorgeschlagene Detektion auch für den mobilen Einsatz auf Kleinrechnern geeignet. Das abschließende Ergebnis erlaubt eine direkte Bestimmung von Bildinhalten, die nicht zur Ebene des Gleisbetts gehören, und aus der Entfernung zwischen den jeweiligen positiven und negativen Antworten im Differenzbild lässt sich auch die Höhe des Objektes über Grund bestimmen. Dafür werden in den nicht planaren Bereichen Punkt-Korrespondenzen gesucht, um aus ihrem Abstand die Höhe abzuschätzen.

3 Ergebnisse

Bilder für die Datenanalyse wurden im Sommer 2022 und im Herbst 2023 mit verschiedenen Kamerasystemen gesammelt, die am Triebfahrzeugfenster in einer ungefähren Höhe von 3 m in Bezug auf das Gleisbett montiert wurden.

Die erste Messung erfolgte mit einem Kamerasystem, bestehend aus einer NIR-Infrarotkamera (Modell UI-3240CP-NIR-GL Revision 2), ausgestattet mit optischen Linsen mit einer Brennweite von 8 mm. Die Bilder wurden mit einer Auflösung von 1280x1024 Pixeln und einer Bildfrequenz von 60 Hz aufgenommen.

Die Kamera wurde mit einem Neigungswinkel positioniert, um auf die Strecke zu fokussieren.

Bild 2a zeigt ein von der NIR-Infrarotkamera aufgenommenes Bild. Wie zu erkennen ist, sind aufgrund des eingeschränkten Blickwinkels und des Neigungswinkels der Kamera nur Objekte sichtbar, die im Gleisbett und in der näheren Umgebung liegen.

Die zweite Messung erfolgte mit einer Weitwinkel-Smartphone-Kamera des Samsung S22 Ultra mit einer Auflösung von 1920x1080 Pixeln und einer Bildrate von 30 Hz.

Die Smartphone-Kamera wurde mit kleinem Neigungswinkel montiert. Dieses Kamerasystem bietet eine interessante Lösung zur Bildaufnahme, da es aufgrund seiner kompakten Größe mit minimalem Aufwand und in wenigen Minuten am Triebfahrzeugfenster montiert werden kann (Bild 5).

Bild 3 zeigt ein mit der Weitwinkelkamera des Smartphones aufgenommenes Bild. Wie man sieht, ist nicht nur das gefahrene, sondern auch das parallele Gleis sichtbar.

Da sich während der Testfahrten keine Objekte im Gleis befunden haben, wurde zur Überprüfung des Verfahrens der Überprüfungsbereich

2.3 Processing

The image from a camera can be converted into an arbitrarily rotated representation using the so-called homography transformation [1]. This operation is carried out by the graphics card in modern desktops and edge computers. It can be run in real time without a large CPU-load. The subsequent correlation and difference calculation is also supported by the GPU hardware. This means that the proposed detection is also suitable for mobile use on small computers. The final result allows a direct determination of any image content that does not belong to the track bed plane and the height of the object above the ground can also be determined from the distance between the respective positive and negative answers in the difference image. For this purpose, point correspondences are found in the non-planar areas in order to estimate the height from their distance.

3 Results

The images for data analysis were recorded in the summer of 2022 and the autumn of 2023 using different camera systems mounted on the locomotive window at an approximate height of 3 meters in relation to the track bed.

The first measurement was carried out using a camera system consisting of a NIR infrared camera (model UI-3240CP-NIR-GL Revision 2) equipped with optical lenses with a focal length of 8 mm. The images were captured with a resolution of 1280x1024 pixels and a frame rate of 60 Hz.

The camera was positioned at a tilt angle to focus on the track.

Fig. 2a shows an image captured by the NIR infrared camera. Only objects lying in the track bed and in the nearby surrounding area are visible as can be seen due to the limited viewing angle and the camera's tilt angle.

The second measurement was carried out using a wide-angle smartphone camera from a Samsung S22 Ultra with a resolution of 1920x1080 pixels and a frame rate of 30 Hz.

The smartphone camera was mounted with a small tilt angle. This camera system offers an interesting solution for image capture as it can be mounted on the cab window with minimal effort in just a few minutes due to its compact size (fig. 5).

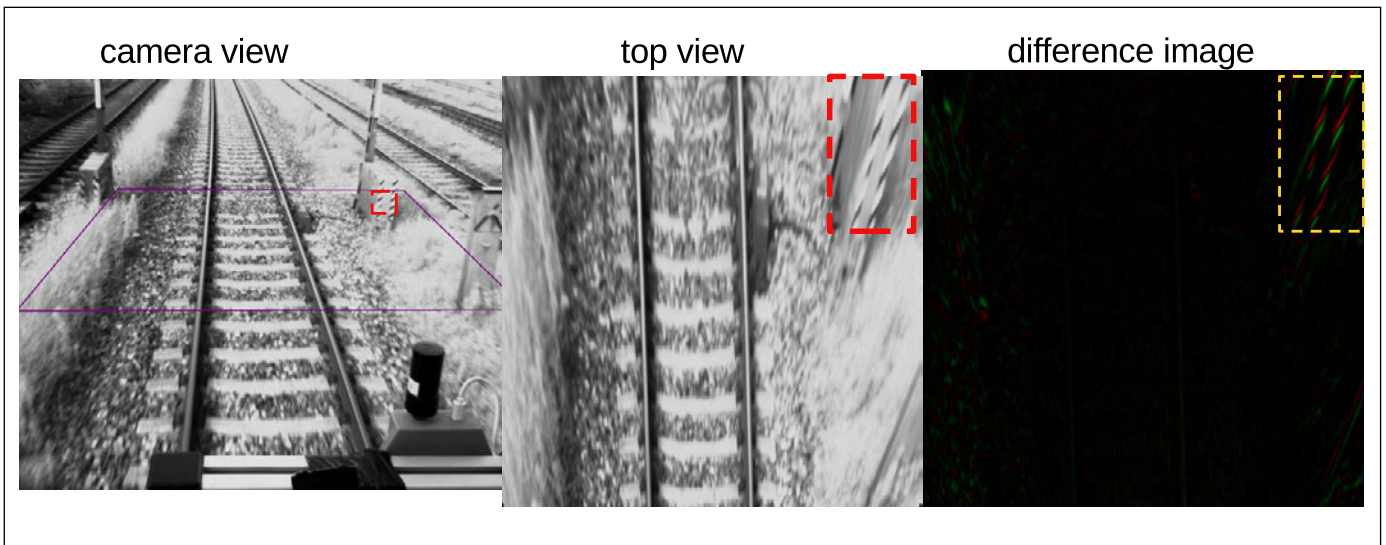


Bild 6: Ergebnis der Hindernis-Detektion aus dem Template-Matching

Fig. 6: The result of the obstacle detection from template matching

Quelle / Source: M2C ExpertControl GmbH

vergrößert, sodass Objekte außerhalb des Lichtraumprofils wie Schaltschränke, Absperrungen, Zwergsignale etc. als potenzielle Hindernisse detektiert wurden.

3.1 Ergebnis der Hindernisdetektion aus dem Differenzbild

Das beschriebene System extrahiert einen Bereich im ursprünglichen Kamerabild (siehe Trapez im Kamerabild in Bild 6). Dieser wird in das Top-View-Format mithilfe der offline bestimmten Montage-Parameter der Kamera für zwei aufeinander folgende Bilder eines Video-Streams projiziert. Nach Abgleich der Bildverschiebung durch Translation und Rotation des ermittelten Bereiches mithilfe der Navigationsdaten wird ein Differenzbild beider Top-Views gebildet, das rechts in Bild 6 zu sehen ist. Nur der im Suchbereich enthaltene Sockel des Signals rechts erzeugt eine Unstimmigkeit, die auf eine Höhenabweichung vom Gleisbett hinweist. Dieser Bereich wird nun auch im Referenzbild im Top-View und im Kamerabild eingezeichnet.

Die roten und grünen Linien im Differenzbild sind die negativen und positiven Unstimmigkeiten, die im ersten und zweiten Bild entstehen. Der Rahmen wird nur um die grünen Linien gezeichnet, weil das der Ausdehnung der Störung im Referenzbild entspricht. Wir haben die Erhebung auch im Kamerabild eingezeichnet, um es in der Szene zu verdeutlichen. Die Empfindlichkeit der Detektion lässt sich mit der Wahl

Fig. 3 shows an image taken with the smartphone's wide-angle camera. As can be seen, the parallel track is also visible in addition to the track being travelled.

Since there were no objects on the track during the test drives, the inspection area was enlarged to check the procedure so that any objects outside the clearance gauge such as control cabinets, barriers, dwarf signals, etc. were also detected as potential obstacles.

3.1 The results of the obstacle detection using difference images

The described system extracts an area in the original camera image (see the trapezoid in the camera image in fig. 6). This is projected into the top view format using the camera's mounting parameters that have been determined offline for two consecutive images of a video stream. After comparing the image shift through the translation and rotation of the determined area with the help of the navigation data, a difference image of both top views is calculated, as can be seen in fig. 6 (right). Only the base of the signal pole contained in the search area on the right generates a discrepancy that indicates a height deviation from the track bed. This area is now also drawn in the reference image in the top view and in the camera image.

M2C ExpertControl GmbH

Together we create smart software solutions
for tomorrow's technologies.

● Innovations for railways ● Applications up to SIL 4 ● RAMS management

m2cec.com

M2C

EC



der Brennweite des Objektivs und der Länge der zwischen beiden Bildern zurückgelegten Strecke bestimmen. Diese ist aus den zuvor ermittelten Navigationsdaten bekannt.

3.2 Ergebnis der Hindernis-Detektion aus dem Template-Matching

Wie in Kap. 2.2 beschrieben, erstellt das Template-Matching zwischen aufeinanderfolgenden Bildern eine Schätzung der Bewegung anhand der Pixelverschiebung. Das Suchfenster ist in 16 Sektoren unterteilt. Das Template-Matching wird innerhalb jedes Sektors durchgeführt. Hindernisse im Gleisbett werden im Top-View falsch projiziert und führen zu einer höheren Pixelverschiebung in dem Sektor, in dem sich das Hindernis befindet.

Bild 7 zeigt die Pixelverschiebung in jedem Sektor (grün) im Vergleich zur Pixelverschiebung (Referenzwert) in den vorherigen Bildern ohne Hindernisse (rot). Wie zu beobachten ist, ist der Wert der Pixelverschiebung im Sektor ganz links, in dem sich das Hindernis befindet, niedriger als der Referenzwert.

4 Fazit

Der vorgestellte Ansatz erlaubt den Ersatz eines aktiven LiDAR Sensors, der bei hohen Reichweiten beträchtliche Strahlung aussendet, durch eine passive monokulare Kamera. Diese kann sehr einfach und rückwirkungsfrei in bestehenden Triebfahrzeugen nachgerüstet werden. Die Verarbeitung basiert auf klassischen Bildverarbeitungsmethoden, die verifizierbar und zulassungsfähig sind. Gleichzeitig wird auch eine relativ geringe Rechenleistung benötigt, die von einem Edge-System geliefert werden kann.

Neben der Hindernisdetektion für ATO bietet unser Ansatz zahlreiche zusätzliche Einsatzmöglichkeiten. Beispiele hierfür sind die Nutzung der visuellen Odometrie zur relativen Lokalisierung von Schienenfahrzeugen sowie die Erkennung von Infrastrukturelementen zur absoluten Lokalisierung oder zum Infrastruktur-Monitoring. ■

LITERATUR | LITERATURE

- [1] Hartley, R.; Zisserman, A.: „Multiple View Geometry in Computer Vision“, Cambridge University Press 2011
 [2] Burschka, D.; Robl, C.: „Highly Accurate Video-Based Train Localization – replacing Balises with Natural Reference Points“. The European Navigation Conference ENC 2020, Dresden, Germany

AUTOREN | AUTHORS

Dr. rer. nat. Daniele Capriotti

Software Entwickler / *Software Engineer*
 M2C ExpertControl GmbH
 Anschrift / Address: Industriestraße 12, D-82194 Gröbenzell
 E-Mail: daniele.capriotti@m2cec.com

Dr.-Ing. Christian Robl

Geschäftsführer / *Managing Director*
 M2C ExpertControl GmbH
 Anschrift / Address: Buchberger Straße 40, D-94560 Offenberg
 E-Mail: christian.robl@m2cec.com

Prof. Dr.-Ing. Darius Burschka

Professor für Telerobotik und Sensordaten Fusion /
Professor for tele-robotics and sensor-data fusion
 Technische Universität München
 Anschrift / Address: Boltzmannstraße 3, D-85748 Garching bei München
 E-Mail: burschka@tum.de

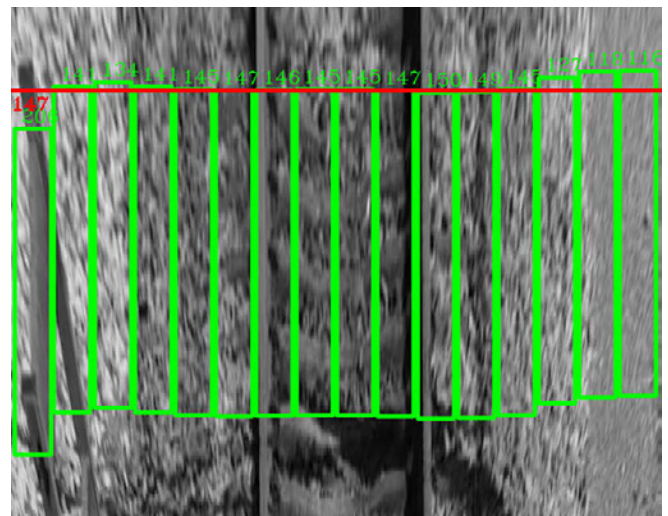


Bild 7: Pixelverschiebung in jedem Sektor (grün) im Vergleich zur Pixelverschiebung in den vorherigen Bildern ohne Hindernisse (rot)

Fig. 7: The pixel shift in each sector (green) compared to the pixel shift in the previous images without any obstacles (red)

Quelle / Source: M2C ExpertControl GmbH

The red and green lines in the difference image are the negative and positive discrepancies that have arisen in the first and second top-view image. The frame is only drawn around the green lines, because that corresponds to the extent of the object in the reference image. We have also marked the elevated obstacle in the camera image to make it clearer in the scene. The sensitivity of the detection can be determined by choosing the lens focal length and the distance covered between the two images. This is known from the previously determined navigation data.

3.2 The results of the obstacle detection using template matching

As described in Chapter 2.2, template matching between consecutive images provides an estimation of movement based on pixel displacement. The search window is divided into 16 sectors. Template matching is carried out within each sector. Any obstacles in the track bed are projected incorrectly in the top view and result in a higher pixel shift in the sector where the obstacle is located.

Fig. 7 shows the pixel shift in each sector (green) compared to the pixel shift (reference value) in the previous images without any obstacles (red). As can be observed, the value of the pixel shift in the leftmost sector, where the obstacle is located, is lower than the reference value.

4 Conclusions

The presented approach allows the replacement of an active LiDAR sensor, which emits considerable radiation at long ranges, with a passive monocular camera. This can be retrofitted in existing locomotives in a very easy, non-intrusive way. The processing is based on classic image processing methods that are both verifiable and certifiable. At the same time, relatively low computing power is required, which can be provided by an edge system.

Our approach offers numerous additional possible applications alongside the obstacle detection for ATO. Examples of this include the use of visual odometry for the relative localisation of rail vehicles, the detection of infrastructure elements for absolute localisation or infrastructure monitoring. ■

Eine vielseitige Testkomponente auf Grundlage des EULYNX-Teilsystems Weiche

A versatile test component based on the EULYNX Subsystem Point

Daniel Schwendke

Mit dem Aufkommen standardisierter modularer Architekturen in der Leit- und Sicherungstechnik (LST) gewinnt die externe Validierung und Verifikation entsprechender Teilsysteme der Signaltechnik-Hersteller zunehmend an Bedeutung, um z. B. die Konformität mit dem Standard und die Interoperabilität mit anderen Teilsystemen nachzuweisen. Dies kann durch das Testen einzelner Teilsysteme bis hin zu vollständigen Systemen erfolgen. Die Einsicht, dass dasselbe Teilsystem dabei in unterschiedlichen Tests unterschiedliche Rollen einnimmt, führte zu der Idee einer „vielseitigen Testkomponente“. Der Beitrag berichtet über eine Umsetzung, die die Teilsysteme Weichencontroller und Weichenantrieb umfasst und auf der EULYNX-Spezifikation des Teilsystems Weiche basiert.

1 Einleitung

1.1 Testbedarf durch standardisierte modulare Architekturen

Seit mehreren Jahren entwickeln europäische Eisenbahninitiativen standardisierte modulare Architekturen: EULYNX [1] konzentriert sich auf die Schnittstellen (engl. interface – IF) des Stellwerks; die Reference CCS Architecture (RCA) [2] deckte den erweiterten Bereich der – vor allem streckenseitigen – LST-Systeme ab; und die Open CCS On-board Reference Architecture (OCORA) [3] kümmert sich um IF zugewandter LST-Komponenten. Zusätzlich beschäftigt sich der Europe's Rail System Pillar mit der Integration dieser Architekturen in einer „System Pillar Architecture“ [4].

Während in der Vergangenheit Modularisierung, IF-Design und das detaillierte Verhalten von LST-Teilsystemen größtenteils herstellerinterne Themen waren, sind sie durch die neuen Architekturen stärker vorgeschrieben. Dies führt zu austauschbaren Teilsystemen, die potenziell von unterschiedlichen Herstellern stammen. Dies wiederum induziert einen erhöhten Verifikations- und Validierungsbedarf, um – gegenüber dem externen Systemintegrator und den Behörden – nachzuweisen, dass die interagierenden Teilsysteme tatsächlich das beabsichtigte Verhalten des Gesamtsystems realisieren. An erster Stelle ist die Konformität der Teilsysteme zur standardisierten Spezifikation zu verifizieren, was idealerweise bereits alle möglichen wünschenswerten Eigenschaften, die in die Spezifikation eingearbeitet sind, implizieren würde. In der Praxis ist dies jedoch nicht ausreichend; Sicherheit, Robustheit, die erfolgreiche Integration von Teilsystemen usw. benötigen weitergehende Verifikation. Zunehmend beschäftigen sich die Standardisierungsinitiativen mit standardisierter Verifikation: Mit Baseline 4 Release 1 hat EULYNX begonnen, „Zertifizierungstestfälle“ für seine „Teilsysteme“ bereitzustellen, d. h. für diejenigen standardisierten Stellwerksschnittstellen, die auch standardisiertes Verhalten des verbundenen Feldelement-

With the advent of standardised modular signalling architectures, the external validation and verification of corresponding subsystems from signalling suppliers has grown increasingly in importance, e.g. to prove conformity with the standard and interoperability with other subsystems. This can be done by testing single subsystems through to complete systems. The insight that the same subsystem will play different roles in different tests has led to the idea of a “versatile test component”. This article reports on a realisation involving the point controller and point machine subsystems, based on the EULYNX Subsystem Point specification.

1 Introduction

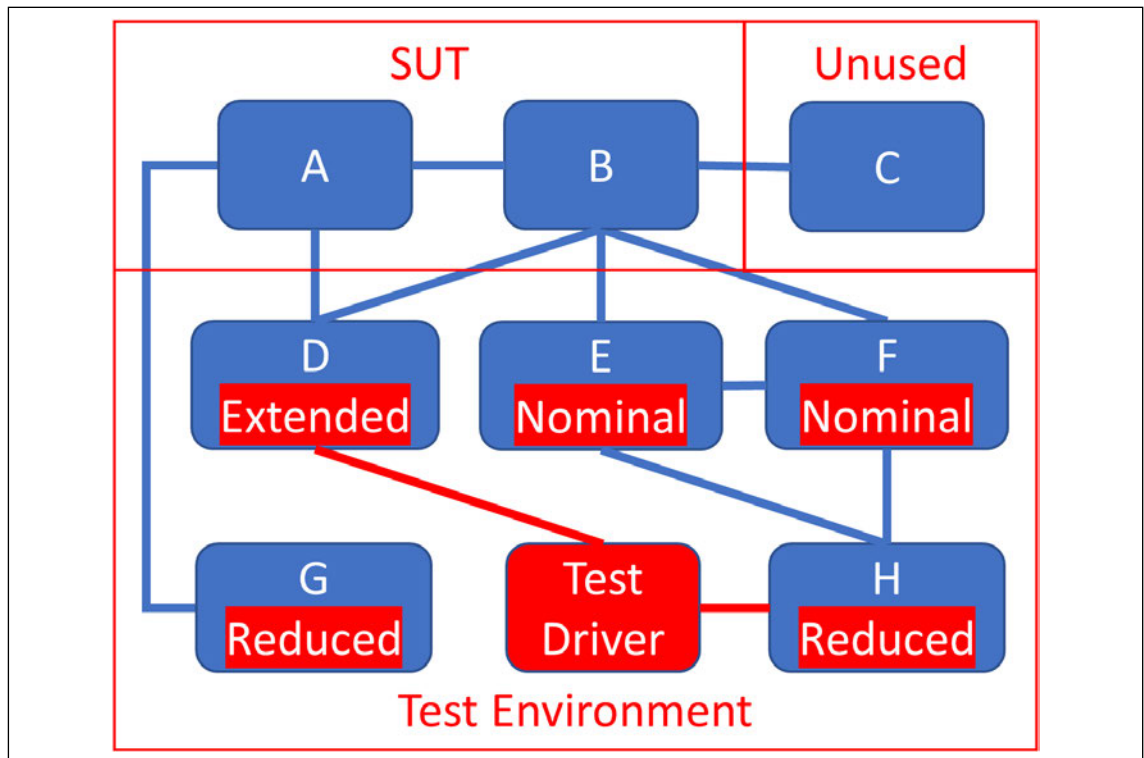
1.1 Demand for testing induced by standardised modular architectures

European railway initiatives have been developing standardised modular architectures for several years: EULYNX [1] focuses on interlocking interfaces (IF), the Reference CCS Architecture (RCA) [2] has covered the wider scope of the (mostly trackside) command control and signalling (CCS) system and the Open CCS On-board Reference Architecture (OCORA) [3] deals with the IF of onboard CCS components. Moreover, Europe's Rail System Pillar has concerned itself with integrating these architectures into a “System Pillar Architecture” [4].

Whereas modularisation, IF design and the detailed behaviour of CCS subsystems was previously largely an internal supplier matter, with the new architectures they are now prescribed to a greater extent. This leads to interchangeable subsystems, potentially provided by different suppliers. This in turn leads to an increased need for verification and validation in order to prove to both the external system integrator and the authorities that the interacting subsystems will actually realise the intended system behaviour. In the first place, conformity to the standardised specification has to be verified and, ideally, this would already imply various desirable properties incorporated into the specification. However, this is not sufficient in practice; safety, robustness, successful subsystem integration, etc. will require further verification. Increasingly, the standardisation initiatives care about standardised verification: Baseline 4 Release 1 of EULYNX started providing “certification test cases” for its “subsystems”, i.e. for those standardised interlocking IF that also include standardised behaviour for the connected field element controllers. EULYNX is also looking into formal verification [5, 6], but for now testing seems to be the envisaged means of verification [7].

Bild 1: Beispielanordnung für Tests (in rot) in einem Systemkontext (in blau)

Fig. 1: An example set-up for testing (in red) within a system-of-systems context (in blue)



Controllern umfassen. EULYNX untersucht zwar auch die Nutzung formaler Verifikation [5, 6], bislang scheint jedoch Testen die anvisierte Verifikationstechnik zu sein [7].

1.2 Die Idee einer vielseitigen Testkomponente

Bild 1 zeigt ein System untereinander verbundener Teilsysteme A bis H (blaue Kästen und Verbindungen). Abhängig vom Ziel und Gegenstand des Tests, kann jedem Teilsystem beim Testen eine Rolle zugeordnet werden (s. rote Kästen als ein mögliches Beispiel):

- entweder Teil des getesteten Systems (engl. system under test – SUT)
- oder Teil der Testumgebung
- oder nicht für die Testanordnung benötigt.

Jedes Teilsystem, das Teil der Testumgebung ist, wird darüber hinaus Funktionalität in einem gewissen Ausmaß umsetzen (Text mit rotem Hintergrund als Beispiel):

- entweder reduzierte Funktionalität (z.B. als Adapter oder einfacher Simulator)
- oder nominelle Funktionalität (wie eine Teilsystemimplementierung)
- oder erweiterte Funktionalität (z.B. als fehlgeschlagenes, defektes oder manipuliertes Teilsystem).

Schließlich werden einige Teilsysteme der Testumgebung mit dem Testtreiber verbunden sein (rote Verbindungen), der die Testausführung gemäß einem gegebenen Testfall steuert; andere jedoch nicht. Weitere Unterschiede (nicht in Bild 1 dargestellt) können zwischen simuliertem Teilsystem und realem Produkt sowie in der Wahl der Konfigurationsparameter eines Teilsystems bestehen.

Entsprechend ist es nicht schwer sich vorzustellen, dass ein Teilsystem beim Testen auf vielfältige Weise genutzt werden kann; und die Notwendigkeit, alle Systemteile zu testen, sowie die Überlegungen zu verschiedenen Verifikationszielen in Abschnitt 1.1 zeigen, dass mehrere dieser Nutzungsarten tatsächlich in Testkampagnen benötigt werden. Für jede Nutzung desselben Teilsystems eine neue Version zu implementieren, wäre aufwendig und würde redundante Arbeit bedeuten,

1.2 The idea of a versatile test component

fig. 1 shows a system of interconnected subsystems A to H (the blue boxes and connections). For testing, each subsystem will be assigned a role (consider the red boxes as an example) depending on the purpose and scope of the test:

- either part of the system under test (SUT)
- or part of the test environment
- or not used in the test set-up.

Moreover, each subsystem that is part of the test environment will be required to realise functionality at a certain extent (the text with the red background as an example):

- either reduced functionality (e.g. acting as an adapter or a simplified simulator)
- or nominal functionality (acting as a subsystem implementation),
- or extended functionality (e.g. acting as a failed, defective or manipulated subsystem).

Finally, some test environment subsystems will be connected to the test driver (the red connections) that controls the test execution according to the given test case, but others may not be. Further differences (not illustrated in fig. 1) may be simulated vs. real product subsystems and the chosen subsystem configuration parameters.

Summarising, it is not difficult to imagine that there is a multitude of possible subsystem uses in testing; and the need to test all the system parts as well as the consideration of the different verification purposes in Section 1.1 indicate that several of these uses will actually be required in test campaigns. Implementing new versions for each use of the same subsystem would be laborious and involve redundant work, as parts of the subsystem IF and functionalities will remain the same. The idea of the test component (TC) presented in this article is to be more efficient by creating a software that can be flexibly configured, connected and controlled, so that it can be used in many different test set-ups.

da Teile der Teilsystemschnittstellen und -funktionalitäten dieselben wären. Die Idee der in diesem Beitrag vorgestellten Testkomponente (TK) ist effizienter: Hierbei wird eine Software erstellt, die flexibel konfiguriert, verbunden und gesteuert werden kann und die so in vielen verschiedenen Testanordnungen verwendet werden kann.

2 Zweck und Umfang der Testkomponente

2.1 Anwendungsfälle und Anforderungen

Die grundlegendste Anforderung an die TK ist, das nominelle Verhalten des/der Teilsystems/-systeme zu implementieren. Für standardisiertes Verhalten bedeutet das „wie spezifiziert“; für nicht standardisiertes Verhalten „Integration einer Simulation realistischer Eingabe-/Ausgabeverhaltens“ (engl. input/output – I/O). Die Implementierung kann Verhalten der Rückfallebene umfassen; und sie beinhaltet, jedes externe und möglicherweise offene interne IF sowie wichtige Statusinformationen von außen zugänglich zu machen. Dies erlaubt bereits die Umsetzung einer Reihe von Anwendungsfällen für die TK:

- Nutzung als SUT oder als Teil des SUT, z. B. für frühzeitige Integrationstests. Allgemeiner betrifft dieser Anwendungsfall Situationen, in denen noch keine Teilsystemimplementierung verfügbar ist oder die verfügbaren keine ausreichenden Informationen/ Einblicke für Debuggingzwecke bereitstellen.
- Nutzung als Referenz. Hierbei haben SUT und Referenz denselben Umfang und erhalten dieselben Eingaben; die Ausgaben des SUT werden dann mit denen der Referenz verglichen.
- Nutzung – evtl. mehrerer Instanzen – als Platzhalter („Dummy“) in größeren Testanordnungen, z. B. beim (Software-)Systemtest. Dieser Anwendungsfall betrifft Situationen, in denen reale Produkte noch nicht fertiggestellt sind oder ihr Einsatz für den Test als zu teuer oder aufwendig betrachtet wird.

Da Bezeichner und Funktionalität von LST-Systemen üblicherweise konfigurierbar sind, wird von der TK vollständige Konfigurierbarkeit (entsprechend ihrer Spezifikation oder der verfügbaren Simulationsoptionen) gefordert. Dies stellt sicher, dass alle konfigurierbaren Funktionen auch tatsächlich getestet werden können oder im Dummy verfügbar sind und dass die TK an die Nutzung in existierenden Umgebungen angepasst werden kann.

Falls die TK mehrere Teilsysteme umfasst, sollte eine Option zur Abschaltung einzelner Teilsysteme – d. h. die Externalisierung interner IF – in Erwägung gezogen werden. Dies ermöglicht die wechselweise oder schrittweise Ersetzung von Teilsystemen der TK durch reale Teilsysteme und somit Tests beliebiger Integrationsstufen.

Zusätzlich sollte es dem Tester möglich sein, über das nominelle I/O Verhalten hinaus, normalerweise nicht mögliches Teilsystemverhalten auszulösen. Das kann die Manipulation von Funktionen (Fehlerinjektion) oder von nichtfunktionalen Eigenschaften (z. B. das Einfügen von Verzögerungen) sein. Hierdurch werden zusätzliche Anwendungsfälle wie das Testen der SUT-Reaktion auf eine fehlerhafte Umgebung ermöglicht.

2.2 Umfang und Funktionen

Als Umfang der TK wurden zwei Teilsysteme gewählt (s. dunkelblaue Kästen in Bild 2):

1. Weichencontroller mit IF und Funktionalität wie von EULYNX spezifiziert (s. Abschnitt 2.3 weiter unten), bis auf dass die spezielle „4-wire“ Variante des P3 IF, die Option, ein IF zum EULYNX-Teilsystem „Maintenance and Data Management“ zu nutzen und das „Standard Diagnostic IF“ nicht umgesetzt wurden. Die wichtigsten Controllerfunktionen sind die Weiterleitung einer vom Stellwerk kommandierten Weichenlage an die Weichenantriebe (engl. point machines – PM) und andersherum die Benachrichtigung des Stell-

2 The purpose and scope of the test component

2.1 Use cases and requirements

The most basic requirement for the TC is the implementation of the nominal behaviour of the subsystem(s). For standardised behaviour, this means “as specified”; for non-standardised behaviour, this means “adding a simulation of realistic input/output (I/O) behaviour”. This may include behaviour in degraded situations and it includes the provision of external access to every external and possibly open internal IF, as well as to important status information. This already allows a number of use cases to be realised for the TC:

- Use as SUT, or as part of the SUT, e.g. for early integration testing. More generally, this use case applies when no subsystem implementation is available yet or the available implementations do not provide sufficient information/insight for debugging purposes.
- Use as reference. This means that SUT and reference both have the same scope and receive the same inputs, and the SUT outputs are compared to the reference outputs.
- Use (possibly multiple instances) as replacement (“dummy“) in larger test set-ups, e.g. during (software) system testing. This use case applies when real products are not yet ready or are considered too expensive/laborious to use in testing.

Given that the identity and functionality of signalling systems are usually configurable, the TC is likewise required to be fully configurable (according to the specification or to the available simulation options). This ensures that all the configurable functions can actually be tested or are available as part of the dummy and that the TC can be adapted for use in given environments.

If more than one subsystem is covered by the TC, an option to switch individual subsystems off (i.e. the externalisation of their internal IF) should be considered. This allows the TC subsystems to be alternately or gradually replaced with real subsystems, supporting testing of all kinds of integration stages.

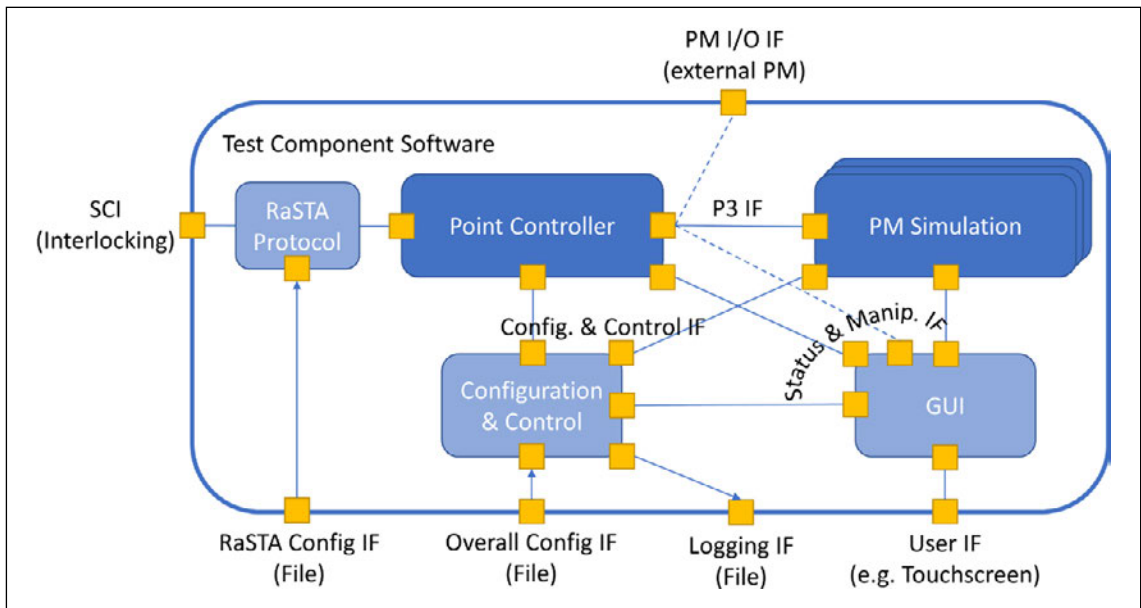
Furthermore, the tester should be able to provoke impossible subsystem behaviour that goes beyond the nominal I/O behaviour. This may include the manipulation of functions (failure injection) or non-functional properties (e.g. the insertion of delays). This enables additional use cases such as testing the SUT reaction to a faulty environment.

2.2 Scope and features

The scope of the TC has been chosen to comprise two subsystems (see the dark blue boxes in fig. 2):

1. A point controller with IF and functionality as specified by EULYNX (see Section 2.3 below), with the exception that the special “4-wire” variant of the P3 IF, the option to use an IF to the EULYNX “Maintenance and Data Management” subsystem and the “Standard Diagnostic IF” have been excluded. The main controller functions involve relaying a point position commanded by the interlocking to the point machines (PM) and reporting an aggregated point position status and any failed point movements back to the interlocking.
2. A PM simulation with the IF to the point controller inherited from the EULYNX specification, but otherwise with self-specified functionality. The main PM simulation functions involve simulating the movement of the PM and reporting its status (position and ability to move) to the point controller. This scope has the advantage of being self-contained in the sense that there is only one mandatory external IF (the standard

Bild 2: Überblick über Struktur und Schnittstellen der TK
 Fig. 2: An overview of the TC structure and the IF



werks über den (über die PM aggregierten) Status der Weichenlage und fehlgeschlagene Weichenumläufe.

2. PM-Simulation mit aus der EULYNX-Spezifikation übernommener IF zum Weichencontroller, ansonsten jedoch eigens spezifizierter Funktionalität. Die wichtigsten Funktionen der PM-Simulation sind die Simulation der PM-Bewegung und die Benachrichtigung des Weichencontrollers über den PM-Status (Position und Funktionsfähigkeit).

Der gewählte Umfang hat den Vorteil, dass er in sich abgeschlossen ist in dem Sinne, dass es lediglich ein für das funktionale Testen unverzichtbares externes IF zu einem anderen Teilsystem gibt (das standard communication interface, SCI, des Weichencontrollers zum Stellwerk), das außerdem vollständig standardisiert ist. Um Letzteres umzusetzen, wurde eine (existierende) DLR-Implementierung des dazu notwendigen RaSTA (Rail Safe Transport Application)-Protokolls [8] in die TK-Software integriert (s. linker hellblauer Kasten in Bild 2). Ein allgemeiner Vorteil der Wahl eines EULYNX-Teilsystems ist die existierende detaillierte Spezifikation nicht nur der IF, sondern auch des Teilsystemverhaltens sowie die (in einer ersten Version) existierenden Zertifizierungstestfälle.

Für die Initialisierung und Ausführung der TK wurden Konfigurations- und Steuerungsfunktionalität ebenso implementiert wie ein grafisches Nutzer-IF (engl. graphical user interface – GUI) zur Interaktion mit dem Tester (s. untere hellblaue Kästen in Bild 2). Das GUI besitzt vier Tabs, die den vier internen Status- und Manipulations-IF in Bild 2 entsprechen; ein Bild des ersten Tabs findet sich in Bild 3.

Die Konfigurierbarkeit der TK beginnt bereits auf der Ebene der Gesamt-TK: Durch einen Konfigurationsparameter des EULYNX-Weichencontrollers, der die Einstellung einer beliebigen Anzahl (≥ 1) von gesteuerten PM erlaubt ([17] erwähnt eine Begrenzung auf 52 PM, jedoch ohne jede Begründung oder Quelle), ist es möglich, mehrere Instanzen der PM-Simulation zu nutzen (in Bild 2 durch mehrere Kästen für die PM-Simulation angedeutet). Ebenso ist es für jede PM möglich, die integrierte Simulation abzuschalten und das PM-Verhalten einem externen Akteur (z. B. einer verbundenen physischen PM, oder dem mit dem GUI der TK interagierenden Nutzer – s. die gestrichelten Linien in Bild 2) zu überlassen.

communication interface, SCI, of the point controller) to another subsystem (the interlocking) that is important for functional testing, which moreover is completely standardised. Note that to achieve the latter, a (pre-existing) DLR implementation of the necessary RaSTA (Rail Safe Transport Application) protocol [8] has been integrated into the TC software (see the left-most light blue box in fig. 2). A general advantage of choosing a EULYNX subsystem lies in the existing detailed specification not only of the IF, but also of the subsystem behaviour and the existing (first version of) certification test cases.

Configuration and control functionality has been added to set up and run the TC, as has a graphical user IF (GUI) for the interaction with the tester (see the bottom light blue boxes in fig. 2). The latter has four tabs corresponding to the four internal status and manipulation IF shown in fig. 2; a picture of the first tab is shown in fig. 3.

The TC configurability already starts at the overall TC level: induced by a configuration parameter for the EULYNX point controller that allows an arbitrary number (≥ 1) of controlled PM ([17] mentions a limit of 52 PM, but without any further justification or reference) it is possible to use several instances of the PM simulation (indicated by multiple boxes for PM Simulation in fig. 2). For each PM it is also possible to switch off the built-in simulation, thereby leaving the PM behaviour to an external actor (e.g. a connected physical PM or the TC user interacting with the GUI; see the dashed lines in fig. 2).

2.3 Specification analysis / creation

The point controller subsystem has been implemented according to the latest EULYNX specifications from Baseline 4 Release 2; this especially includes the requirement specifications [9, 10, 11], the SCI IF specifications [12, 13] and the architecture specification [14]. Generally, the tabular (SCI telegrams) and model-based (subsystem logical structure and behaviour) specifications define the subsystem very precisely and consistently. Overall, the specifications comprise 14 telegrams, ten interconnected SysML (Systems Modelling Language [15]) blocks containing one state diagram each and 15 configuration options relevant for the point controller. However, there are specification gaps, in particular since SysML (version 1.6) leaves the

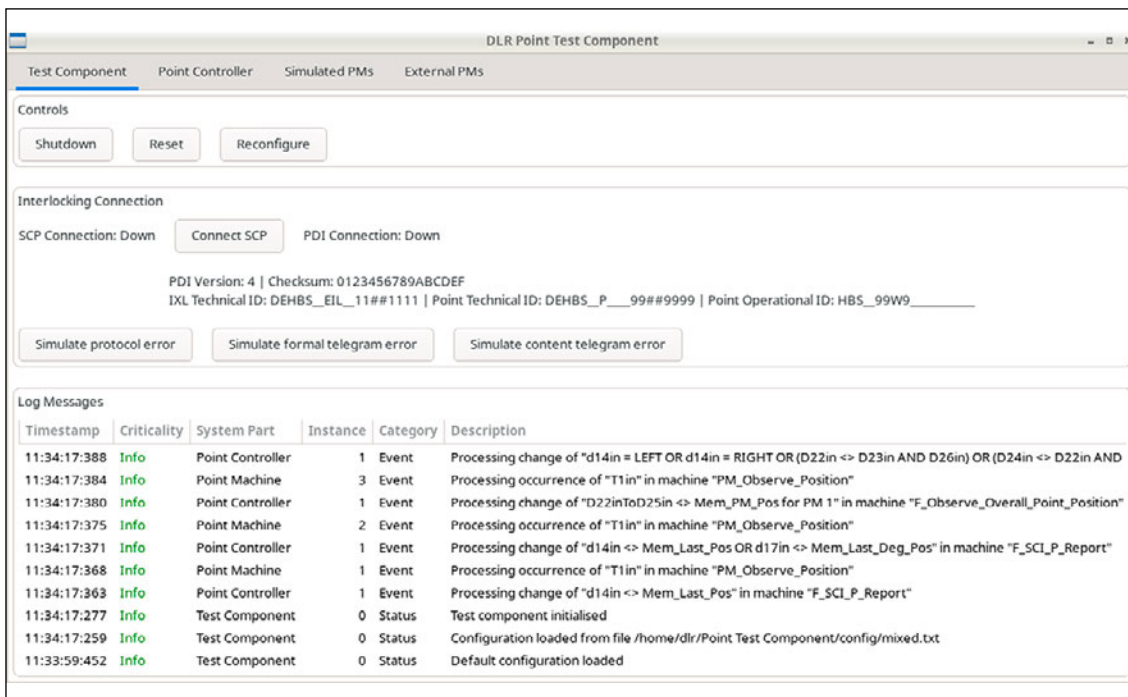


Bild 3: Bildschirmfoto des ersten Tabs des GUI der TK zur Überwachung und Steuerung der Gesamt-TK

Fig. 3: A screenshot of the first tab in the TC GUI for overall monitoring and control

2.3 Analyse / Erstellung der Spezifikation

Das Weichencontroller-Teilsystem ist gemäß den neuesten EULYNX-Spezifikationen aus Baseline 4 Release 2 implementiert; insbesondere gemäß der Anforderungsspezifikationen [9, 10, 11], der IF-Spezifikationen [12, 13] des SCI und der Architekturspezifikation [14]. Im Allgemeinen definieren die tabellarischen (SCI-Telegramme) und modellbasierten (logische Struktur und Verhalten des Teilsystems) Spezifikationen das Teilsystem sehr präzise und konsistent. Insgesamt beinhalten die Spezifikationen 14 Telegramme, zehn untereinander verbundene SysML (Systems Modeling Language [15])-Blöcke, die jeweils ein Zustandsdiagramm beinhalten, und 15 Konfigurationsoptionen von Bedeutung für den Weichencontroller. Dennoch gibt es auch Spezifikationslücken, insbesondere da SysML (Version 1.6) die Ausführungsreihenfolge von Ereignissen in Zustandsdiagramm-

execution order of events in state diagrams, as well as a few other details, up to implementation, and EULYNX has seemingly not closed these gaps either. In addition, behavioural ambiguities were detected in the concrete model during the analysis of the specifications and subsequently reported to and discussed with the EULYNX cluster in charge. Some working assumptions have been made to resolve these issues.

No standardised specification was known for the PM simulation subsystem. A subsystem was specified in the same style as the EULYNX specifications by building on the already defined P3 IF (fig. 2) and on some ideas of the physical processes. This amounted to three interconnected SysML blocks containing one state diagram each (one of which is shown in fig. 4), and two configuration options.

The advertisement features a QR code in the top left, a high-speed train in motion on the right, and the HIMA SMART SAFETY logo. The main headline is '#safetygoesdigital'. Below this, the text reads: 'HIMAs innovativer Ansatz führt die Bahnindustrie in eine intelligente, sichere und geschützte digitale Zukunft. Erfahren Sie mehr auf der Innotrans 2024.' At the bottom left is the Innotrans logo and 'Halle 27, Stand 540'. On the right, a circular graphic labeled 'Smart Solutions for the Digital Railway' is connected to five horizontal bars representing different benefits: Flexibility by Design, Functional Safety Excellence, Optimizing Lifecycle Cost, Safe & Secure Ecosystem, and Technology Leadership.

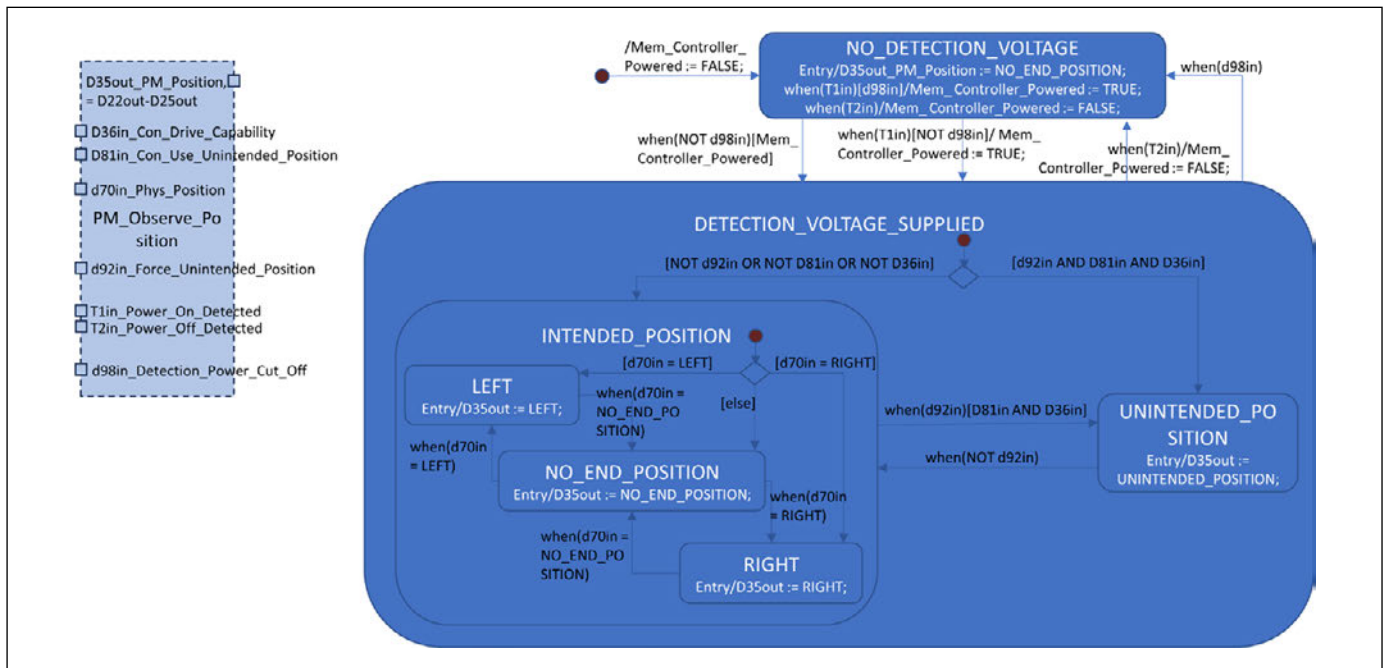


Bild 4: Zustandsautomat zur Beobachtung der PM-Position als Teil der Spezifikation der PM-Simulation
 Fig. 4: A state diagram observing the PM position as part of the PM simulation specification

men ebenso wie wenige weitere Details der Implementierung überlässt, und auch EULYNX diese Lücken nicht zu schließen scheint. Zusätzlich wurden während der Analyse der Spezifikation Verhaltensmehrdedeutigkeiten entdeckt, an das zuständige EULYNX-Cluster berichtet und mit diesem diskutiert. Für die weiteren Schritte wurden Annahmen getroffen, um die Probleme zu lösen.

Für das PM-Simulations-Teilsystem war keine standardisierte Spezifikation bekannt. Aufbauend auf das bereits definierte P3 IF (Bild 2) und auf eine gewisse Vorstellung der physischen Abläufe einer PM, wurde das Teilsystem im Stil der EULYNX-Spezifikationen spezifiziert. Daraus ergaben sich drei untereinander verbundene SysML-Blöcke, die jeweils ein Zustandsdiagramm beinhalten (eines davon ist in Bild 4 zu sehen), und zwei Konfigurationsoptionen.

3 Konzeption der Testkomponente

3.1 Weichencontroller

Aufgrund der vorhandenen strukturierten (verbundene SysML-Blöcke) und detaillierten EULYNX-Spezifikation für das Teilsystem Weiche und der Einschätzung, dass Leistungsoptimierung für Controller mit zeitlichen Anforderungen in der Größenordnung von 100 Millisekunden eher nachrangig ist, wurde entschieden, dass es am einfachsten ist, beim durch die Spezifikation gegebenen Design zu bleiben. Für einige wenige Teile, die absichtlich durch die Spezifikation offengelassen wurden (offene Ports von SysML-Blöcken), wurden meist entsprechende GUI-Elemente zur direkten Bedienung durch den Tester eingeführt (z. B. Buttons für Versorgungs-spannung ein/aus).

3.2 Weichenantriebssimulation

Für den Entwurf der PM-Simulation wurden, neben dem durch EULYNX definierten P3 IF, weitere externe IF für Spannungsversorgung und zur physischen Weiche definiert, die über das GUI durch den Tester gesteuert werden können (z. B. Button für das Erzwingen einer unbeabsichtigten Position, was einem Ereignis wie dem Auf-fahren der Weiche entspricht). Außerdem kann die Zeit, die die PM

3 Designing the test component

3.1 The point controller

Given the availability of the structured (interconnected SysML blocks) and detailed EULYNX Subsystem Point specification, and considering the fact that performance optimisation is somewhat subordinate for controllers with timing requirements in the order of 100 milliseconds, the conclusion was reached that it was easiest to stick with the design given by the specification. For a few parts left intentionally open by the specification (open ports of SysML blocks), mostly corresponding GUI controls were designed for direct input by the tester (e.g. power on/off buttons).

3.2 The PM simulation

For the PM simulation design, in addition to the P3 IF defined by EULYNX, further external IF for the power supply and to the physical point were defined that can be controlled by the tester using the GUI (e.g. a button to force an unintended position representing an event such as the trailing of the point). Furthermore, the time it takes the PM to move from one end position to the other can be changed with the GUI.

The PM simulation subsystem has been structured into three logical components, each of which is responsible for a certain function of the PM simulation, as defined by a state diagram:

- The main function is the simulation of the PM movement based on inputs from the P3 IF, the physical point IF, on the drive power availability and the PM movement time. When designing it, it was necessary to define what happens in special situations such as conflicting inputs (e.g. move left AND move right). If a PM is configured as “no drive capability” (i.e. as a point detector only), the logical component responsible for the PM movement will not be instantiated.
- The second function is the detection of the PM position (see the corresponding state machine in fig. 4) based on the output of the PM movement simulation, forced unintended position and the availability of detection power. For the special

für die Bewegung von einer Endposition in die andere benötigt, per GUI geändert werden.

Die PM-Simulation wurde in drei logische Komponenten strukturiert, von denen jede für eine bestimmte Funktion der PM-Simulation verantwortlich ist, die durch ein Zustandsdiagramm definiert wurde:

- Die Hauptfunktion ist die Simulation der PM-Bewegung, basierend auf Eingaben vom P3 IF und dem IF zur physischen Weiche, auf der Verfügbarkeit der Antriebsspannung und der Laufzeit der PM. Für den Entwurf war es nötig zu definieren, was in speziellen Situationen wie konfligierenden Eingaben (z.B. Bewegung nach links UND Bewegung nach rechts) geschieht. Für den Fall einer als „nicht antriebsfähig“ konfigurierten PM (d.h. die lediglich als Weichendetektor fungiert) wird die für die PM-Bewegung verantwortliche logische Komponente nicht instanziiert.
- Die zweite Funktion ist die Detektion der PM-Position (s. den entsprechenden Zustandsautomaten in Bild 4), basierend auf der Ausgabe der PM-Bewegungssimulation, dem Vorliegen einer erzwungenen unbeabsichtigten Position und der Verfügbarkeit der Detektionsspannung. Für den Spezialfall eines Weichendetektors wurde ein Design gewählt, das die Positionsinformation (d70in Eingabe) von den benachbarten antriebsfähigen PM ableitet.
- Die dritte Funktion ist die Detektion der Funktionsfähigkeit der PM, basierend auf der Verfügbarkeit der Antriebsspannung und darauf, ob die PM überhaupt für die Erkennung der Funktionsfähigkeit konfiguriert wurde.

3.3 Einbindung externer Weichen(antriebe)

Für die Einbindung einer externen PM (alternativ zur Nutzung der PM-Simulation) sieht das Design vor, dass das P3-IF als externes IF der TK bereitgestellt werden kann. Genauer gesagt wird es gleichzeitig zum Anschließen einer realen PM und auf dem GUI bereitgestellt – s. die zwei gestrichelten Linien in Bild 2. Das GUI dient dazu, den Status des IF dem Tester anzuzeigen, erlaubt es dem Tester jedoch zugleich, Eingaben zu ändern. Letzteres wurde zugelassen, um (a) die direkte Simulation wirklich jedes PM-Szenarios durch einen Tester zu ermöglichen, ohne ein reales Gerät anschließen zu müssen, und (b) das Erzwingen oder Auflösen spezieller Situationen durch den Tester zu ermöglichen (z.B. die einer unbeabsichtigten Position, ohne eine angeschlossene reale Weiche zu beschädigen).

3.4 Konfiguration und Manipulation

Es wurde ein einfaches textbasiertes Parameter/Wert-Konfigurationsdateiformat entworfen, um eine flexible Nutzung verschiedener Konfigurationen zu ermöglichen. Als erstes definiert es Festwert-Daten, die während eines Testlaufs nicht veränderbar sind: 15+2 Parameter für Weichencontroller- und PM-Konfiguration, wie z. B. zur Aktivierung der Redrive-Funktionalität des Controllers. Zweitens definiert das Format initiale Werte für Simulationsparameter, die per GUI während eines Testlaufs veränderbar sind: 8+12 Parameter für Weichencontroller und PM

case of detector only PM a design was chosen that derives the position information (d70in input) from the neighbouring PM with drive capability.

- The third function is the detection of the PM’s ability to move based on the availability of drive power and on whether the PM has been configured to detect the inability to move at all.

3.3 Connecting external PM

For the connection of external PM (as an alternative to using the PM simulation), it has been foreseen by the design that the P3 IF can be exposed as an external TC IF. More precisely, it is made available both for connecting real PM and on the GUI in parallel: see the two dashed lines in fig. 2. The GUI is used to display the IF status to the tester, but at the same time it also allows the tester to change the inputs. The latter has been allowed (a) to enable the simulation of literally any PM scenario directly by a tester without the need for a connection to a real device and (b) to enable the tester to force or resolve special situations (e.g. force an unintended position without damaging a connected real point).

3.4 Configuration and manipulation

A simple text-based parameter/value configuration file format has been designed to allow for the flexible use of different configurations. Firstly, it defines fixed-value data that cannot be changed during a test run: 15+2 parameters for point controller and PM configuration, such as for enabling the controller’s re-drive functionality. Secondly, it also defines initial values for the simulation parameters that can be changed during a test run via the GUI: 8+12 parameters for point controller and PM such as whether the movement to the left is initially blocked for a PM. Thirdly, it also defines 9+9 initially displayed failure injection options for the GUI (see paragraph below).

A default configuration has been designed that allows the ad-hoc use of the TC. It is possible to reset or reconfigure the TC without shutting it down. A separate RaSTA configuration XML file is used (fig. 2) to enable successful RaSTA connections with any devices performing the role of an EULYNX interlocking.

Manifold manipulation capabilities via the GUI have been planned (but not yet fully implemented) for the behaviour of both the point controller and the PM simulation. Those functions with timing requirements specified by EULYNX can be artificially delayed for the controller, while the outputs, event processing and state diagram transitions can be manipulated for both subsystems by suppressing, inserting or delaying them etc.

4 Implementing the test component

4.1 Hardware

Important TC hardware requirements are

- support for connecting the SCI, which is normally done using an Ethernet cable;

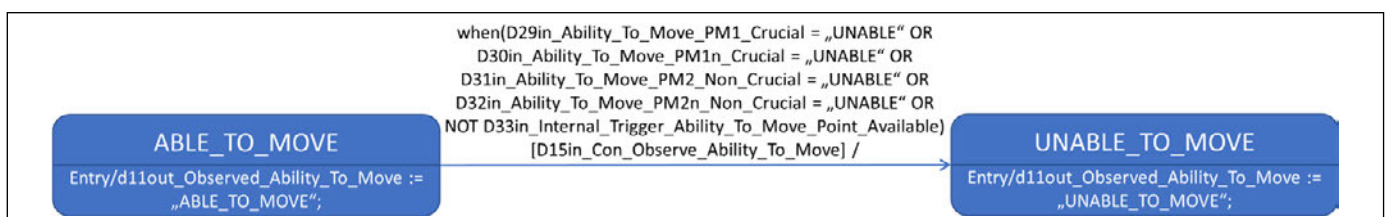


Bild 5: Beispieltransition eines Zustandsautomaten, neu gezeichnet nach [8]

Fig. 5: An example state diagram transition, redrawn from [8]

Bild 6: C++ Code für die Zustandsdiagramm-Transition aus Bild 5; event 0 steht dabei für das change event „when(D29in_Ability...Point_Available)“ der Transition

Fig. 6: The C++ code for the state diagram transition from fig. 5, where event 0 stands for the change event “when(D29in_Ability...Point_Available)” from the transition

```
// Process change event involving D29in to D33in ports
void F_Observe_Ability_To_Move::processChangeEvent_D29inToD33in(int event)
{
    if (currentState == ABLE_TO_MOVE) {
        // Transition ABLE_TO_MOVE -> UNABLE_TO_MOVE
        if (event == 0) {
            if (Con_Observe_Ability_To_Move) {
                [...]
                enterUnableToMove ([...]);
                currentState = UNABLE_TO_MOVE;
            }
        }
    }
    [...]
}
```

wie z. B. ob Linksbewegungen initial für eine PM blockiert sind. Drittens definiert es 9+9 initial angezeigte Fehlerinjektionsoptionen für das GUI (s. Absatz weiter unten).

Eine Default-Konfiguration wurde entworfen, die eine sofortige Nutzung der TK erlaubt. Es ist möglich, die TK zurückzusetzen oder umzukonfigurieren, ohne sie herunterzufahren. Um erfolgreiche RaSTA-Verbindungen mit allen Geräten zu ermöglichen, die die Rolle eines EULYNX-Stellwerks übernehmen, wird eine eigene RaSTA-XML-Konfigurationsdatei genutzt (Bild 2).

Es wurden vielfältige Manipulationsmöglichkeiten per GUI geplant (noch nicht vollständig implementiert), sowohl für das Verhalten des Weichencontrollers als auch der PM-Simulation. Beim Controller können diejenigen Funktionen mit durch EULYNX spezifizierten Zeitanforderungen künstlich verzögert werden. Und bei beiden Teilsystemen können Ausgaben, Ereignisverarbeitung und Zustandsdiagramm-Übergänge durch Unterdrücken, Einfügen, Verzögerung usw. manipuliert werden.

4 Implementierung der Testkomponente

4.1 Hardware

Wichtige Anforderungen an die TK-Hardware sind

- Unterstützung für den Anschluss des SCI, der normalerweise per Ethernetkabel erfolgt,
- ein IF zur Anzeige des GUI und zur Bedienung der TK hierdurch,
- ein IF zur Einbindung externer PM,
- einfache Transportierbarkeit (als vielseitige TK) und
- geringe Kosten (um die Testkosten moderat zu halten, selbst wenn viele solcher TK genutzt werden).

Es wurde entschieden, einen Raspberry Pi Mikrocomputer (Modell 4B) mit dem Betriebssystem Raspberry Pi OS zu verwenden, eingebaut in ein stabiles Gehäuse und zusammen mit einem über HDMI verbundenen transportablen 10.1" Touchscreen. Dies genügt eindeutig den obigen Anforderungen (wobei das GPIO-IF für die externen PM verwendet wird) und bietet sogar weitere Möglichkeiten (z. B. WLAN als Alternative zum Ethernetkabel).

4.2 Software

Die TK-Software besteht größtenteils aus handgeschriebenem C++ Code und bindet den C Code der bereits zuvor existierenden RaSTA-Implementierung ein. Die logischen Komponenten der Teilsysteme mit ihren Zustandsautomaten wurden in strukturierter Weise in C++ Klassen überführt. Insbesondere wurden Klassenmethoden zur Evaluation geänderter Eingaben oder von Timern erstellt, die Ereignisse

- an IF to display the GUI and operate the TC through it;
- an IF for connecting external PM;
- easy transportability (as a versatile TC); and
- low cost (to keep testing costs moderate even if many such TC are used).

A decision was made to use a Raspberry Pi microcomputer (model 4B) running the Raspberry Pi OS, housed in a solid case and with a transportable 10.1" touchscreen connected by HDMI. This clearly fulfils the aforementioned requirements (using its GPIO IF for external PM) and even provides more options (e.g. using Wi-Fi as an alternative to the Ethernet cable).

4.2 Software

The TC software is mainly handwritten in C++, incorporating the pre-existing RaSTA implementation in C. The logical components of the subsystems and their state diagrams have been transformed into C++ classes in a structured manner. In particular, member functions have been created to evaluate changed inputs or timers that may generate events; further member functions have been created for the processing of these change or timeout events (see fig. 5 for an example transition that translates to the C++ code shown in fig. 6). The event scheduling is managed by a central control class based on one queue for each subsystem; the information at the internal and external IF is relayed by this control class as well. Version 4.0 of the gtkmm framework [16] has been used to create the GUI. gcc has been used on the Raspberry Pi to compile the software.

5 Validating the test component

5.1 The test environment

For a basic validation of the TC, it has been tested using the DLR RailSiTe lab. The core of the lab consists of a modular software for simulation and the testing of different signalling subsystems. In the current context, the lab executed the test cases and acted as the interlocking side of the SCI. The detailed definition of the SCI telegrams (SCI-P version 4) to be generated by the lab and those expected back from the point controller has been implemented in the lab (telegram structure) and given as part of the test cases (telegram values). The RailSiTe® includes a RaSTA protocol implementation and runs on a computer with an Ethernet port, so that a connection with the TC can be easily established after defining some connection parameters (IP address, UDP ports, RaSTA IDs) on both sides.

generieren können; weitere Klassenmethoden wurden für die Abarbeitung dieser Änderungs- oder Timeout-Ereignisse erstellt (Bild 5 für einen Beispiel-Zustandsübergang, dessen Übersetzung in C++ Code in Bild 6 zu finden ist). Das Ereignis-Scheduling wird von einer zentralen Steuerungsklasse übernommen, basierend auf einer Warteschlange für jedes Teilsystem; auch die Weiterleitung von Informationen an internen und externen IF ist Aufgabe dieser Steuerungsklasse. Für die Erstellung des GUI kam das gtkmm-Framework [16] in Version 4.0 zum Einsatz. gcc wurde auf dem Raspberry Pi verwendet, um die Software zu kompilieren.

5 Validierung der Testkomponente

5.1 Testumgebung

Als einfache Validierung der TK wurde diese im DLR- Labor RailSiTe getestet. Im Kern besteht das Labor aus einer modularen Software für die Simulation und den Test verschiedener signaltechnischer Teilsysteme. Im vorliegenden Kontext führte das Labor Testfälle aus und agierte als Stellwerksseite des SCI. Die detaillierte Definition der vom Labor zu generierenden und der vom Weichenkontroller erwarteten SCI-Telegramme (SCI-P Version 4) wurde im Labor implementiert (Telegrammstruktur) und als Teil der Testfälle spezifiziert (Telegrammwerte). Das RailSiTe beinhaltet eine RaSTA-Protokoll-Implementierung und läuft auf einem Computer mit Ethernetport, sodass eine Verbindung mit der TK einfach hergestellt werden kann, sobald auf beiden Seiten einige Verbindungsparameter (IP-Adresse, UDP-Ports, RaSTA-IDs) definiert wurden.

5.2 The test cases and test execution

EULYNX Baseline 4 Release 1 has delivered a set of certification test cases for EULYNX point controllers. However, this is neither complete (see [17]) nor fully compatible with Baseline 4 Release 2 point controllers (e.g. using telegrams in version 3 of SCI-P), so the existing test cases have been adapted and completed for the purpose of TC validation. Five main test cases have been defined for use with the default TC configuration.

These test cases have been arranged into two test sequences that are executable by the lab, including additional prefix test cases for establishing a connection at the SCI. During test execution, the TC GUI was used by the tester to manipulate PM simulations so that the PM outputs were delayed or changed as required. The log messages recorded by the TC for both test sequences have been (automatically) saved in a text file (tab. 1) for a detailed evaluation of the test runs. The central block of five log entries in tab. 1 shows a test sequence where the second PM's drive voltage becomes insufficient (encoded as Boolean input d99in, see the bottom step of the block). The point controller is notified that the PM is unable to move (the following step upwards, cf. the transition from fig. 5), processes the change and finally sends a telegram informing the interlocking that the point is considered as unable to move (the uppermost step in the block).

5.3 Test results

The test process revealed some issues that were successively removed until all the test cases (see Section 5.2) were able to be executed successfully. Apart from some problems with lab con-



Effiziente Instandhaltung im Schienenverkehr?

Bei uns sind Sie richtig. Wir sind Experten für zukunftsfähige Infrastrukturlösungen. Überzeugen Sie sich selbst!



Besuchen Sie uns an unserem Stand auf der InnoTrans 2024. HALLE 25, STAND 240D

www.bbl-unternehmensgruppe.de



5.2 Testfälle und Testdurchführung

Mit EULYNX Baseline 4 Release 1 wurde ein Satz von Zertifizierungstestfällen für EULYNX-Weichencontroller bereitgestellt. Allerdings ist dieser weder vollständig (s. [17]) noch vollständig kompatibel mit Baseline 4 Release 2 Weichencontrollern (z. B. werden Telegramme in SCI-P Version 3 verwendet). Daher wurden zum Zweck der TK-Validierung existierende Testfälle angepasst und vervollständigt. Fünf wesentliche Testfälle wurden, zur Nutzung mit der Default-Konfiguration der TK, definiert. Diese Testfälle wurden in zwei Testsequenzen angeordnet, die im Labor ausführbar sind, inklusive zusätzlicher vorgeschalteter Testfälle für den Verbindungsaufbau am SCI. Während der Testdurchführung wurde das GUI vom Tester verwendet, um die PM-Simulationen so zu manipulieren, dass die PM-Ausgaben wie benötigt verzögert oder verändert wurden. Die durch die TK für beide Testsequenzen aufgezeichneten Log-Nachrichten wurden (automatisch) in eine Textdatei (Tab. 1) für die detaillierte Auswertung der Testläufe gespeichert. Der mittlere Block in Tab. 1 aus fünf Logeinträgen zeigt eine Testabfolge, in der die Antriebspannung der zweiten PM unter die ausreichende Spannung fällt (kodiert als Bool'sche Eingabe d99in, siehe unterster Schritt des Blocks). Der Weichencontroller wird benachrichtigt, dass die PM nicht funktionsfähig ist (im folgenden Schritt darüber, vgl. die Transition aus Bild 5), verarbeitet diese Änderung und sendet schließlich ein Telegramm, das das Stellwerk informiert, dass die Weiche als nicht umlauffähig angesehen wird (oberster Schritt des Blocks).

5.3 Testergebnisse

Die im Rahmen des Testprozesses gefundenen Probleme wurden schrittweise behoben, bis alle Testfälle (s. Abschnitt 5.2) erfolgreich ausgeführt werden konnten. Abgesehen von einigen Problemen mit der Laborkonfiguration und der Testfallbeschreibung wurden die folgenden Probleme in der ersten Version der TK gefunden:

- ein Copy-and-Paste-Fehler
- eine vergessene Codezeile
- fehlerhafter Prüfsummen-(De-)Kodierungsalgorithmus
- zwei fehlerhaft strukturierte bedingte (if...then...else) Anweisungen (jeweils der gleiche Fehler).

Für eine handgeschriebene Software mit etwa 10000 Codezeilen (exkl. RaSTA-Implementierung) sind das extrem wenige Fehler, von denen sich lediglich der letzte Aufzählungspunkt auf den Zustandsdiagramm-Code bezieht. Mögliche Erklärungen hierfür sind, dass (a) die fünf Testfälle den TK-Code nur teilweise abdecken, (b) die modellbasierte Spezifikation (SysML-Blöcke und Zustandsdiagramme) auf sehr systematische Weise in Code überführt werden konnten und (c) je zwei GUI-Fehler und zwei Fehler in der Zustandsdiagramminitialisierung bereits vor

figuration and test case coding, the following issues were discovered in the first version of the TC:

- a copy-and-paste error;
- a forgotten line of code;
- a wrong checksum de-/encoding algorithm;
- two incorrectly structured conditional (if...then...else) statements (same error).

This constitutes an extremely small number of errors for a handwritten software with roughly 10,000 lines of code (excluding the RaSTA implementation), while only the last bullet point refers to state diagram code parts. Some explanations for that can be found in the fact that (a) the five test cases only partially cover the TC code, (b) the model-based specification (SysML blocks and state diagrams) was able to be transferred to the code in a very systematic manner and (c) a couple of GUI errors and state diagram initialisation errors (visible in the log) had been identified visually and fixed in advance of the testing. Nevertheless, the test results (in addition to validating the fact that the important functions work as expected) have given rise to the assumption that the TC code is of a high quality.

Furthermore, an issue with the EULYNX specifications has also been detected: They do not seem to constrain the scheduling of events for state diagrams that has been (intentionally) left open by SysML (cf. Section 2.3). This can lead to presumably undesired sequences of telegrams observed at the SCI during testing. Recorded log entries were used to evaluate the test runs. The interpretation of the logs was feasible, but sometimes a bit arduous, because no cause-effect relation between the log entries was recorded.

6 Summary, conclusions and future work

In summary, a versatile TC has been designed, implemented and validated. It comprises a point controller as specified by EULYNX and a PM simulation, as well as ample possibilities for configuration and interaction. Based on a Raspberry Pi micro-computer, the TC can be easily transported and connected using an Ethernet cable at the point controller's SCI. It can be used as part of many different test set-ups: i.e. as SUT or as part of the test environment, with an internally simulated or externally connected / simulated PM, with nominal behaviour or with manipulated behaviour (not yet fully implemented).

The conclusions from the work include the following:

Zeitstempel / Timestamp	Kritikalität / Criticality	Teilsystem / System Part	Instanz / Instance	Kategorie / Category	Beschreibung / Description
03:05:44:114	Info	IXL - Controller	0	Status	SCP connection closed
[...]					
03:04:01:805	Info	IXL - Controller	0	Data <	Sent "Ability To Move Point(ability=UNABLE)" telegram
03:04:01:790	Info	Point Controller	1	Event	Processing change of "d11in = UNABLE_TO_MOVE" in machine "F_Control_Point"
03:04:01:776	Info	Point Controller	1	Event	Processing change of "d11in = UNABLE_TO_MOVE" in machine "F_SCI_P_Report"
03:04:01:761	Info	Point Controller	1	Event	Processing change of "D29in = UNABLE OR D30in = UNABLE OR D31in = UNABLE OR D32in = UNABLE OR NOT D33in" in machine "F_Observe_Ability_To_Move"
03:04:01:747	Info	Point Machine	2	Event	Processing change of "NOT d99in" in machine "PM_Observe_Ability_To_Move"
[...]					
03:03:49:202	Info	IXL - Controller	0	Status	SCP connection established successfully
[...]					
03:03:03:895	Info	Test Component	0	Status	Default configuration loaded

Tab. 1: Log-Ausschnitt einer Testausführung, von unten nach oben zu lesen; IXL = Stellwerk (engl. Interlocking)

Tab. 1: Log excerpt from a test run, to be read from the bottom up; IXL = interlocking

den Tests visuell identifiziert (im Log sichtbar) und behoben wurden. Trotzdem lassen die Testergebnisse – neben der Validierung, dass wichtige Funktionen sich wie erwartet verhalten – vermuten, dass der TK-Code von hoher Qualität ist.

Zusätzlich wurde ein Problem in den EULYNX-Spezifikationen entdeckt: Sie scheinen das Scheduling von Ereignissen für Zustandsdiagramme nicht weiter zu spezifizieren, das (absichtlich) durch SysML offengelassen wird (vgl. Abschnitt 2.3), was zu vermutlich ungewollten Telegrammabfolgen am SCI führen kann, die während der Tests beobachtet wurden. Zur Auswertung der Testläufe wurden die aufgezeichneten Log-Einträge genutzt. Die Interpretation der Logs war machbar, manchmal jedoch etwas mühsam, da keine Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zwischen den Log-Einträgen aufgezeichnet wurden.

6 Zusammenfassung, Fazit und Ausblick

Zusammenfassend wurde eine vielseitige TK entworfen, implementiert und validiert. Sie umfasst einen Weichencontroller gemäß EULYNX-Spezifikationen und eine PM-Simulation und bietet eine Vielzahl von Möglichkeiten der Konfiguration und Interaktion. Als Software auf einem Raspberry Pi Mikrocomputer ist die TK einfach transportierbar und per Ethernetkabel am SCI des Weichencontrollers anschließbar. Die TK kann als Bestandteil vieler verschiedener Testanordnungen verwendet werden: als SUT oder als Teil der Testumgebung, mit intern simulierten oder extern verbundenen/simulierten PM, mit nominellem oder mit manipuliertem Verhalten (letzteres noch nicht vollständig implementiert).

- The detailed and clear design of the TC has been an important precondition for arriving at a high-quality software. This has included maintaining complete lists of IF parameters, configuration options, GUI controls and manipulation options; it has also included a detailed description of the PM behaviour using state machines and additional text in order to cope with each possible configuration and input combination.
- Transforming many state machines into C++ code is admittedly possible on the basis of a clear transformation scheme, yet laborious. It is estimated that if more than one EULYNX subsystem specification is to be implemented, it would be more efficient to first implement an automatic transformation and apply it to the exported XMI (XML Metadata Exchange) files of the specification models provided by EULYNX.
- Depending on the particular kind of manipulation, this can be easily integrated into the state-machine-based code structure (reading/setting information that is stored with or passed between state machines or the manipulation of telegrams or events) or requires major local (transition manipulation) or global (passing on additional delay values together with the information) changes.
- The detailed model-based specification leads to a surprisingly high ad-hoc quality of the implementation as witnessed by the results of the basic TC testing. However, the tests also showed that it is not trivial to come up with an appropriate solution for the parts (event scheduling) that remain unspecified by EULYNX and SysML.

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

Anzeigenschluss:
16.10.2024

Buchen Sie jetzt

➔ **Ihren Firmeneintrag**

➔ **Ihr Businessprofil**

➔ **Ihre Anzeige**



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

**Eurail
press**

Das folgende Fazit kann aus den Arbeiten gezogen werden:

- Die detaillierte und klare Konzeption der TK war eine wichtige Voraussetzung, um eine Software hoher Qualität zu erreichen. Dies schloss die Pflege einer vollständigen Liste an IF-Parametern, Konfigurationsoptionen, GUI-Steuerelementen und Manipulationsoptionen ein; ebenso gehörte hierzu eine detaillierte Beschreibung des PM-Verhaltens als Zustandsautomaten und zusätzlicher Text, um jede mögliche Konfiguration und jede Eingabekombination zu behandeln.
- Die Übersetzung mehrerer Zustandsautomaten in C++ Code ist, auf Grundlage eines klaren Übersetzungsschemas, möglich, aber aufwendig. Schätzungsweise ist, sobald mehr als ein EULYNX-spezifiziertes Teilsystem implementiert werden soll, die Implementierung einer automatischen Übersetzung und deren anschließende Anwendung auf aus dem durch EULYNX erstellten Spezifikationsmodell exportierte XMI (XML Metadata Exchange) Dateien effizienter.
- Abhängig von der jeweiligen Art der Verhaltensmanipulation kann diese leicht in die zustandsautomatenbasierte Codestruktur integriert werden (Lesen/Schreiben von Informationen, die in den Zustandsautomaten gespeichert sind oder zwischen ihnen weitergegeben werden, oder Manipulation von Telegrammen oder Ereignissen) oder erfordert größere lokale (Manipulation von Zustandsübergängen) oder globale (Weitergeben zusätzlicher Verzögerungswerte zusammen mit einer Information) Änderungen.
- Die detaillierte modellbasierte Spezifikation führt zu überraschend hoher ad-hoc Qualität von Implementierungen, wie die Ergebnisse grundlegender Tests der TK zeigen. Die Tests zeigten jedoch ebenso, dass es nicht trivial ist, eine passende Lösung für diejenigen Teile (Ereignis-Scheduling) zu finden, die durch EULYNX und SysML unspezifiziert bleiben.

Eine erste Anwendung der TK als SUT ist im Zusammenhang mit einer neuen EULYNX-Prüfumgebung geplant, die aktuell von der Deutschen Bahn AG im Rahmen des europäischen R2DATO-Projekts aufgebaut wird. Eine andere Anwendung als Teil einer Testumgebung könnte die Integration in das RailSiTe®-Labor des DLR als Weichensimulation sein. Weitere Einsatzszenarien jenseits von EULYNX-Tests, wie für die Validierung von EULYNX-Laboren oder zur Ansteuerung realer Weichen im nicht-betrieblichen Kontext, sind vorstellbar.

Neben der Vervollständigung der Implementierung zählen zu den Ideen für die Weiterentwicklung die Ermöglichung von Standalone-PM-Simulationen und sich um die flexible Integration künftiger Versionen des Standards für das EULYNX-Weichen-Teilsystem zu kümmern. ■

Danksagung

Der überwiegende Teil der Arbeiten wurde im Rahmen des FP2 - R2DATO Projekts durchgeführt. Das Projekt wird von der Europäischen Union durch das Europe's Rail Joint Undertaking (JU) unter der Zuwendungsvereinbarung Nr. 101102001 gefördert. Eine erste Vorgängerversion der Software (C++ Kodierung von Weichencontroller-Zustandsautomaten gemäß EULYNX Baseline 4 Release 1) wurde während eines Praktikums von Hr. Tsogtbaatar Mendbayar beim DLR im Sommer 2022 erstellt. Zum Ausdruck gebrachte Ansichten und Meinungen sind ausschließlich diejenigen des Autors und geben nicht notwendigerweise diejenigen der Europäischen Union oder des Europe's Rail JU wieder. Weder die Europäische Union noch das JU können hierfür haftbar gemacht werden.

AUTOR | AUTHOR

Dr. Daniel Schwencke

Verifikations- und Validierungsmethoden / *Verification and Validation Methods*
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. / *German Aerospace Center*
Institut für Verkehrssystemtechnik / *Institute of Transportation Systems*
Anschrift / *Address*: Lilienthalplatz 7, D-38108 Braunschweig
E-Mail: daniel.schwencke@dlr.de

A first application of the TC as SUT is planned in connection with the new EULYNX test bed currently being developed by DB within the European R2DATO project. Another application as part of a test environment may involve integration into DLR's RailSiTe® lab as point simulation. Further uses beyond EULYNX testing are conceivable, such as the validation of EULYNX labs or controlling real points in non-operational settings.

In addition to the completion of the implementation, ideas for further development may include enabling standalone PM simulations and taking care of the flexible integration of future versions of the EULYNX Subsystem Point standards. ■

Acknowledgement

Most of the works reported have been conducted in the course of the FP2 - R2DATO project. The project is funded by the European Union through the Europe's Rail Joint Undertaking (JU) under Grant Agreement No. 101102001. A first precursor software (point controller state machine C++ encoding according to EULYNX Baseline 4 Release 1) has been created during an internship of Mr. Tsogtbaatar Mendbayar at DLR in summer 2022.

Views and opinions expressed are however those of the author only and do not necessarily reflect those of the European Union or the Europe's Rail JU. Neither the European Union nor the JU can be held responsible for them.

LITERATUR | LITERATURE

- [1] EULYNX Website, <https://eulynx.eu>, accessed on 03/05/2024 2:14 p.m.
- [2] EUG and EULYNX partners (2022): RCA Architecture Poster, Preliminary issue, With OCORA contribution. RCA.Doc.40, version 0.4 (0.A) from 26/04/2022, published in Baseline 0 Release 4
- [3] OCORA public Github repository, <https://github.com/OCORA-Public/Publications>, accessed on 03/05/2024 4:55 p.m.
- [4] Europe's Rail System Pillar website, https://rail-research.europa.eu/system_pillar/system-pillar-architecture/, accessed on 03/05/2024 4:58 p.m.
- [5] Salunkhe, S.; Berglehner, R.; Rasheeq, A. (2021): Automatic Transformation of SysML Model to Event-B Model for Railway CCS Application. In: Raschke, A.; Méry, D. (eds): Rigorous State-Based Methods. ABZ 2021. Lecture Notes in Computer Science, vol 12709. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77543-8_14
- [6] Bouwman, M.; van der Wal, D.; Luttkik, B.; Stoelinga, M.; Rensink, A. (2023): A Case in Point: Verification and Testing of a EULYNX Interface. Form. Asp. Comput. 35, 1, Article 2. <https://doi.org/10.1145/3528207>
- [7] EULYNX (2022): Certification plan. Eu.Proc.7, version 2B from 22/11/2022, published in Baseline 4 Release 1
- [8] DIN VDE V 0831-200 (2015-06): Electric signalling systems for railways – Part 200: Safe transmission protocol according to DIN EN 50159 (VDE 0831-159)
- [9] EULYNX (2023): Requirements specification for subsystem Point. Eu.Doc.36, version 4.3 (0.A) from 28/06/2023, published in Baseline 4 Release 2
- [10] EULYNX (2023): Generic interface and subsystem requirements. Eu.Doc.20, version 4.0 (3.A) from 27/06/2023, published in Baseline 4 Release 2
- [11] EULYNX (2023): Generic interface and subsystem requirements for SCI. Eu.Doc.119, version 1.0 (3.A) from 27/06/2023, published in Baseline 4 Release 2
- [12] EULYNX (2023): Interface specification SCI Generic. Eu.Doc.93, version 3.2 (0.A) from 28/06/2023, published in Baseline 4 Release 2
- [13] EULYNX (2023): Interface specification SCI-P. Eu.Doc.38, version 4.2 (0.A) from 27/06/2023, published in Baseline 4 Release 2
- [14] EULYNX (2023): EULYNX System architecture specification. Eu.Doc.16, version 2.2. (0.A) from 27/06/2023, published in Baseline 4 Release 2
- [15] OMG SysML Website, <http://www.omg-sysml.org/>, accessed on 15/05/2024 11:51 a.m.
- [16] gtkmm Reference Manual Website, <https://gnome.pages.gitlab.gnome.org/gtkmm/>, accessed on 15/05/2024 12:47 a.m.
- [17] EULYNX (2022): Scope and coverage justification for EULYNX Certification test cases. Version 1.A from 18/11/2022, published in Baseline 4 Release 1

So steigern Wayside Object Controller die Effizienz in der Signaltechnik

How Wayside Object Controllers increase efficiency in signalling technology

Florian Einböck | Ulrich Jansko

Der Einsatz moderner Wayside Object Controller (WOC) mit standardisierten EULYNX-Schnittstellen hat großes Potenzial für die zukunftsfähige Eisenbahninfrastruktur. Die Technik erlaubt eine herstellerübergreifende Zentralisierung der Signaltechnik mit hoher Verfügbarkeit, Effizienz, Sicherheit und Flexibilität. Dies bringt wirtschaftliche Vorteile für die Infrastrukturbetreiber mit sich, beispielsweise durch die Entkoppelung der Lebenszykluszeiten einzelner Subsysteme, die Ermöglichung moderner bedarfsorientierter Wartung und reduzierte Investitionskosten bei Verkabelung.

1 Object Controller im Bahnbetrieb

Der Bedarf für die Modernisierung und Zentralisierung von Eisenbahnsignaltechnik in Europa ist immens, ebenso der Neubau von leistungsfähigen Strecken. In beiden Fällen kommen moderne WOC mit standardisierten Schnittstellen wie EULYNX zum Einsatz. Die Vorteile für Betreiber reichen von der effizienten Beschaffung bis hin zu moderner Diagnose und vorausschauender Wartung.

1.1 Die Rolle von WOC in der Signaltechnik

Werden Bahnstrecken heute neu gebaut oder umfassend modernisiert, dann wirkt sich das erheblich auf die Struktur der Signaltechnik mit ihren Komponenten aus. Moderne WOC steuern und überwachen dabei am Gleis installierte Anlagen – insbesondere Gleisabschnitte, Weichen, Signale sowie andere Ein- und Ausgabeelemente. Hier spielen standardisierte und flexible Schnittstellen eine entscheidende Rolle. EULYNX bietet in dieser Hinsicht ein Architekturkonzept für die Transformation konventioneller Stellwerke in Richtung zukunftssicherer Signaltechnik, das sich in Europa und darüber hinaus mehr und mehr etabliert.

Moderne WOC in Feldelementnähe werden notwendig, weil zentrale Systeme der Leit- und Sicherungstechnik (LST) die historisch gewachsene Vielzahl lokaler Stellwerke ablösen. So sind beispielsweise in Deutschland noch rund 3500 (elektro-)mechanische, elektronische und Relais-Stellwerke im Einsatz [1]. Die Umrüstung auf WOC kann die Effizienz des Bahnbetriebes durch die Steuerung über Rechenzentren erheblich steigern.

Das Potenzial für die Kapazitätserweiterung durch die Einführung neuer Technologien im Eisenbahnbetrieb ist beträchtlich. Eine im Frühjahr 2024 vorgestellte Studie der Digitalen Schiene Deutschland (DSD) [2] prognostiziert beispielsweise eine Kapazitätssteigerung von bis zu 15 % auf Bestandsstrecken durch konsequente Modernisierung aller Ebenen der LST – bei gleichzeitig verbesserter Betriebsqualität.

The use of modern Wayside Object Controllers (WOC) with standardised EULYNX interfaces has great potential for future-proofing the railway infrastructure. The technology allows the cross-manufacturer centralisation of signalling technology with high availability, efficiency, safety and flexibility. This brings economic benefits for infrastructure operators, for example by decoupling the lifecycle times of the individual subsystems, which enables modern demand-orientated maintenance and reduced investment costs for cabling.

1 Object Controllers in railway operations

The demand for the modernisation and centralisation of railway signalling technology in Europe is immense, as is the construction of new high-performance lines. In both cases, modern WOC with standardised interfaces such as EULYNX are being utilised. The benefits for operators range from efficient procurement to modern diagnostics and predictive maintenance.

1.1 The role of WOC in signalling technology

When new railway lines are built or extensively modernised nowadays, these changes have a significant impact on the structure of the signalling technology and its components. Modern WOC control and monitor systems installed on the track, in particular track sections, points, signals and other input and output elements, with standardised and flexible interfaces. In this regard, EULYNX offers an architectural concept for the transformation of conventional interlockings towards future-proof signalling technology, which is becoming increasingly established in Europe and beyond.

Modern WOC in the vicinity of the field elements are becoming necessary, because centralised control, command, and signalling (CCS) systems are replacing the historically evolved myriad of local interlockings. In Germany, for example, around 3,500 (electro-)mechanical, electronic and relay interlockings are still in use [1]. Converting them to WOC can significantly increase the efficiency of rail operations as they can be controlled via data centres.

The potential for increasing capacity through the introduction of new technologies in railway operations is considerable. A recent study presented by Digitale Schiene Deutschland (DSD) [2] in spring 2024, for instance, predicts an increase in capacity of up to 15 % on existing lines through the consistent modernisation of all levels of CCS technology, while simultaneously enhancing operational quality.

Infrastrukturbetreibern bietet der Einsatz von WOC mit standardisierten Schnittstellen wichtige Vorteile für den kosteneffizienten Systemausbau. Denn mit ihnen lassen sich erstmals Signaltechnikkomponenten verschiedener Hersteller sicher und flexibel kombinieren. Durch die maßgeschneiderte Technologie wird so der bedarfsgerechte Ausbau erleichtert. Auch die Effizienzsteigerung bei Wartungsarbeiten gehört zu den Vorteilen von WOC. Dieser Beitrag stellt die Verwendung von WOC mit EULYNX-Standard als technische Lösung mit ihren Möglichkeiten vor, zeigt Praxisbeispiele aus Deutschland, Frankreich sowie Österreich auf und betrachtet ihre Rolle für Betriebssicherheit (Safety) und Gefahrenabwehr (Security) mit einem Fokus auf die Datensicherheit.

1.2 Die Anwendung von WOC in der Praxis

In der Signaltechnik sind WOC das zentrale Bindeglied zwischen Feldelement und Stellwerk. Dabei sind standardisierte Protokolle für den sicheren Datenaustausch unverzichtbar. In Europa führend ist hier das standardisierte Protokoll EULYNX, das seit 2014 von der gleichnamigen Initiative entwickelt wurde. EULYNX zeichnet sich durch seine Skalierbarkeit und Flexibilität aus, was den Infrastrukturbetreibern umfangreiche Möglichkeiten bei Modernisierung und Erweiterung ihrer Netze mit einer modularen Signaltechnik bietet. EULYNX-konforme Module und Komponenten umfassen sämtliche Elemente der Signaltechnik, die zur Steuerung und Überwachung der Infrastruktur notwendig sind. Einheitliche Fehlermeldungen und Wartungsprotokolle tragen zur Verbesserung der vorausschauenden und anlassbezogenen Wartung bei.

Am Beispiel einer Weiche lässt sich die Anwendung von WOC gut nachvollziehen: Zum Weichenantrieb hin aktiviert der mit einer lokalen Energieversorgung verbundene WOC die elektrische Anspeisung für den Motor des Weichenantriebs. Gleichzeitig empfängt er Informationen über die Endlage. Ein moderner WOC kann zudem sekundäre Endlagenüberwachungen in den Zustand des Wayside Objects integrieren. Vom Stellwerk empfängt der WOC die entsprechenden Stellenweisungen und sendet die Statusinformationen zurück. Die Kommunikation zum Stellwerk erfolgt über etablierte Kommunikationsinfrastrukturen, allerdings mit effizienten, IP-basierten Protokollen. Verglichen zu konventionellen lokalen Stellwerken, mit einer oft kilometerlangen Verkabelung der einzelnen Objekte ins Stellwerksgebäude, ergibt sich somit ein erhebliches Potenzial für Einsparungen.

Die Rolle des WOC besteht also in der sicheren Datenübertragung zum räumlich beliebig entfernten Stellwerk sowie der Ansteuerung und Überwachung des lokal verkabelten Feldelements. Vergleichbar arbeiten auch WOC für Lichtsignale, Gleisabschnitte sowie weitere Anwendungen der Signaltechnik. Das reicht bis zu digitalen Input-Output-Daten und Bahnübergangssteuerungen (Bild 1).

Standards wie EULYNX sorgen für eine funktions- und herstellerübergreifende Kompatibilität in den komplexen Systemen. Letzterer umfasst dabei die standardisierten Schnittstellen SCI (Standard Communication Interface), SDI (Standard Diagnostic Interface), SMI (Standard Maintenance Interface) sowie SSI (Security Service Interface), welche für verschiedene Anwendungen eingesetzt werden können.

1.2.1 Flexibilität in der Anschaffung und Erneuerung von Signaltechnik durch WOC

Bei der Implementierung zeichnen sich WOC mit EULYNX-Standard durch Flexibilität bei der Auswahl der Lieferanten verschiedener Komponenten aus. Denn gegenüber früher üblichen proprietären Lösungen vom Feldelement bis zur Stellwerkstechnik lassen sich zukünftig die WOC unterschiedlicher Lieferanten zu ei-

The use of WOC with standardised interfaces offers infrastructure operators important advantages for cost-efficient system expansion. This is because they allow signalling technology components from different manufacturers to be combined in a safe and flexible manner for the first time. This facilitates the required expansion through the use of tailor-made technology. Furthermore, increased efficiency during maintenance work is yet a further advantage of WOC.

This article presents the use of WOC in conjunction with the EULYNX standard as a technical solution, showcases its possibilities and provides practical examples from Germany, France and Austria. Furthermore, the article also explores the role of WOC in operational safety and cyber security with a focus on data security.

1.2 The use of WOC in practice

In signalling technology, WOC are the central link between the field element and the interlocking. Standardised protocols are essential for secure data exchange. The standardised EULYNX protocol, which has been developed by the initiative of the same name since 2014, is leading the way in Europe. EULYNX is characterised by its scalability and flexibility, which offers infrastructure operators extensive options for modernising and expanding their networks with modular signalling technology.

EULYNX compliant modules and components comprise all the signalling technology elements required to control and monitor the infrastructure. Furthermore, standardised error messages and maintenance logs help to improve predictive and incident-based maintenance.

The use of WOC can be clearly illustrated using the example of a turnout: the WOC, which is connected to a local power supply, activates the electrical supply for the point machine motor. It also receives information about the end position at the same time. A modern WOC can also integrate secondary end position monitoring into the status of the wayside object. The WOC receives the corresponding positioning instructions from the interlocking and sends the status information back. Communication with the interlocking takes place via established communication infrastructures, albeit with the use of efficient, IP-based protocols. Compared to conventional local interlockings, which often necessitate the use of extensive cabling from the individual objects to the interlocking building, this new approach creates considerable potential for savings.

The role of the WOC therefore consists of secure data transmission to the distant interlocking as well as the control and monitoring of the locally wired field element. WOC also work in a similar way for light signals, track sections and other signalling technology applications. This extends to digital input/output data and level crossing control systems (fig. 1).

Standards such as EULYNX ensure cross-functional and cross-manufacturer compatibility in complex systems. The latter includes the standardised SCI (Standard Communication Interface), SDI (Standard Diagnostic Interface), SMI (Standard Maintenance Interface) and SSI (Security Service Interface) interfaces, which can be used for various applications.

1.2.1 Flexibility in the procurement and replacement of signalling technology when using WOC

With regard to their implementation, WOC with the EULYNX standard are characterised by flexibility in the selection of suppliers for various components. In the past, proprietary solutions ranging from field elements to interlocking technologies were



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



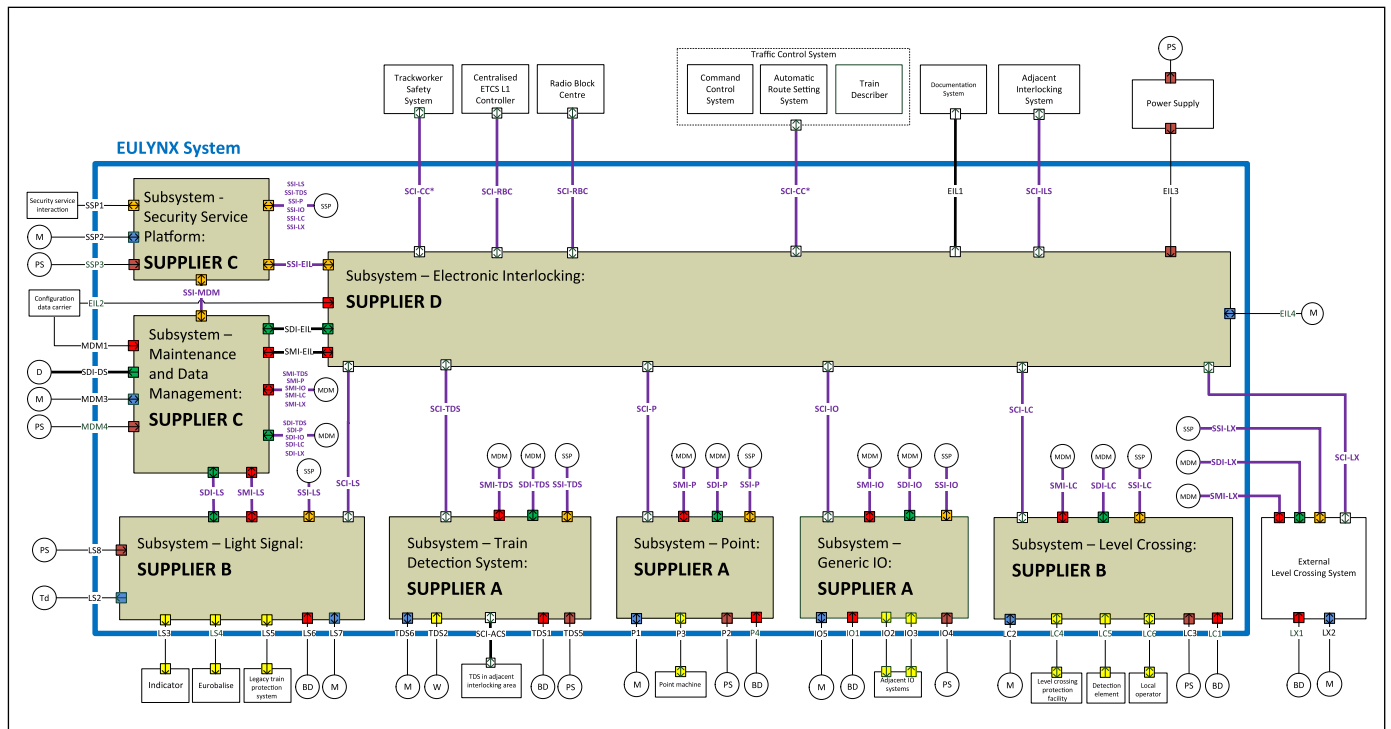


Bild 2: Beispiel für die Lieferantenauswahl mittels EULYNX-Architektur

Fig. 2: Supplier selection example enabled by EULYNX architecture

Quelle / Source: [3]

Der Vorteil wirkt sich auf Neubauprojekte (Greenfield) genauso aus wie auf die Skalierung von vorhandenen Installationen an der Strecke (Brownfield): Wird bestehende Signaltechnik mit modernen WOC aufgerüstet, ergibt sich die Möglichkeit, komplexe Infrastrukturprojekte an den EULYNX-Schnittstellen zu entflechten.

1.2.2 WOC als Treiber moderner Diagnose und Wartung

WOC mit standardisierten EULYNX-Schnittstellen können den Bahnbetrieb erheblich verbessern, indem sie umfassende Diagnosedaten zur Verfügung stellen. Diese nicht betriebsnotwendigen Daten werden parallel zu den sicherheitsrelevanten Daten der Signaltechnik erhoben und kontinuierlich mit sicheren Konnektivitätslösungen an die entsprechenden Systeme für Zustandsüberwachung und Wartungsplanung übermittelt. Das erlaubt den Einsatz vereinheitlichter Diagnosesysteme für Objekte verschiedener Hersteller.

Diese Funktion ist ein einschneidender Innovationssprung im Vergleich zur fristenbasierten Wartung von Signaltechnikkomponenten. Denn durch die vereinheitlichte Diagnose und die zustandsbasierte Planung der Wartungsarbeiten lassen sich diese viel effizienter als bisher auf den konkreten Bedarf anpassen. Damit können Auswirkungen bis hin zu Streckensperrungen reduziert werden, weil sich Fehler frühzeitig durch Abweichungen von typischen Daten erkennen lassen – beispielsweise durch die Analyse der Ströme von Weichenmotoren oder das Umlaufverhalten der Weichenzungen.

2 Safety und Security

Der Sicherheitsgedanke spielt für den Bahninfrastrukturbetrieb seit jeher eine sehr große Rolle. Er ist verantwortlich für die Entwicklung der LST. Bei modernen Systemen rückt neben der Betriebssicherheit (Safety) immer stärker die Gefahrenabwehr (Security) in den Blick. WOC mit sicheren, standardisierten Schnitt-

modular systems. Any necessary replacements of certain components therefore no longer affect other parts of the installed technology.

The advantage has the same effect on new projects (greenfield) as it does on the scaling of existing installations on the line (brownfield): if existing signalling technology is upgraded with modern WOC, it is possible to unbundle complex infrastructure projects along EULYNX interfaces.

1.2.2 WOC as a driver of modern diagnostics and maintenance

WOC with standardised EULYNX interfaces can significantly improve railway operations by providing comprehensive diagnostic data. This non-operational data is collected in parallel with the safety-relevant signalling technology data and continuously transmitted to the corresponding systems through secure connectivity solutions for condition monitoring and maintenance planning. This allows the use of standardised diagnostic systems for wayside objects from different manufacturers.

This function represents a significant technological advancement compared to the time-based maintenance of signalling technology components. This is because standardised diagnostics and the condition-based planning of maintenance work allow adaptations to specific requirements in a much more efficient manner than was the case previously. This approach can mitigate any negative impacts, including line closures, because faults can be detected at an early stage through deviations from the typical data: for example, by analysing the point machine motor current or the switch time behaviour.

2 Safety and security

The safety concept has always played a very important role in railway infrastructure management, as it is responsible for the

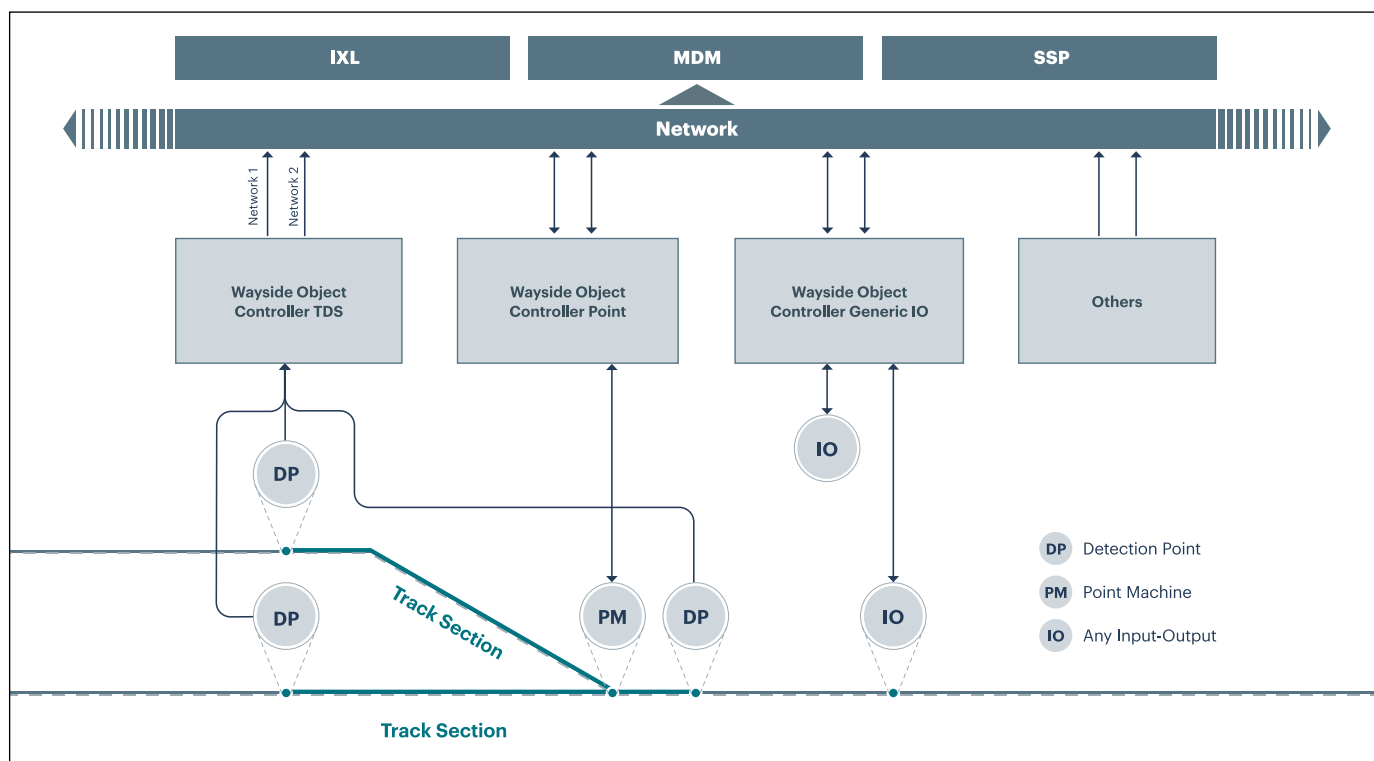


Bild 1: Signaltechnik-Architektur mit standardisierten WOC

Fig. 1: Signalling architecture with standardised WOC

Quelle/ Source: Frauscher Sensortechnik

nem Gesamtsystem kombinieren. Die langfristige Bindung an einen einzigen Hersteller und Lieferanten wird so vermieden. Der wirtschaftliche Vorteil dieser Flexibilität kann sich bereits bei der Anschaffung zeigen: Infrastrukturbetreiber können die WOC direkt vom Hersteller und unabhängig von der Signal- und Stellwerkstechnik beziehen sowie implementieren (Bild 2). Das bietet Kostenvorteile bei der Erstbeschaffung. Angesichts der langen Nutzungsdauer von Signaltechnik ermöglicht EULYNX auch dauerhaft größere Spielräume für die technische Auslegung der eigenen Signaltechnik. Denn die Nutzungsdauer der verschiedenen Ebenen der Signaltechnik mit ihren Komponenten ist in modularen Systemen voneinander entkoppelt. Notwendige Erneuerungen bestimmter Komponenten wirken sich somit nicht mehr auf andere Teile der installierten Technik aus.

utilised extensively. However, in the future, WOC from different suppliers can be combined to establish the entire system. This avoids long-term ties to a single manufacturer and supplier. The economic advantage of this flexibility is already visible at the procurement stage: infrastructure operators can purchase and implement the WOC directly from the manufacturer and independently of the signalling and interlocking technology (fig. 2). This approach offers considerable cost advantages as early as the initial stages of procurement. Taking the long lifetime of signalling technology components into consideration, EULYNX also provides a greater long-term scope for the technical design of the individual pieces of signalling technology. This is because the lifecycles of the various levels of signalling technology and their components are decoupled from each other in

Drive digital rail forward. Gain a wide range of actionable expertise from a single source. NEXTRAIL's leading teams of seasoned experts develop pioneering solutions for railway and infrastructure operators.

Visit us at InnoTrans in Berlin, 24. – 27. Sep. Hall CityCube A, Stand 240

Start digitizing now: [nextrail.com](https://www.nextrail.com)

Performance for the digital future of railway systems

NEXTRAIL

stellen wie EULYNX erfüllen höchste Ansprüche an beide Faktoren. Unterschiedliche Projekte von Frauscher machen das große Potenzial deutlich.

2.1 Hohe Relevanz bei unterschiedlichen Anforderungen

Von den Safety-Anwendungen wird erwartet, dass sie langlebig und wartungsarm sind. Security-Funktionen hingegen müssen agil und dynamisch auf neue Anforderungen und Risiken reagieren können. Es gibt Wechselwirkungen zwischen beiden Bereichen, wie z. B. den Schutz der Kommunikation für Safety-Anwendungen durch Security. Dennoch unterscheiden sich Auslegung und Betrieb der entsprechenden Systeme erheblich. Das macht unter anderem die verschiedene Lebensdauer der Komponenten deutlich: Sie ist bei Safety-relevanter Technik erheblich größer als bei Security-bezogenen Komponenten, was auf den computerbasierten Ansatz (Embedded Computer Plattform mit Linux Betriebssystem) zurückzuführen ist. Durch eine klare Trennung im modernen WOC lässt sich die technische Abhängigkeit von Safety und Security beherrschen. Für die Betreiber ermöglicht das eine flexible und bedarfsgerechte Anschaffung neuer Komponenten und somit einen klaren Kostenvorteil.

2.2 Konnektivität als Schlüssel für sichere Anwendungen

Die Verlässlichkeit und Sicherheit der Konnektivität entscheidet über die erfolgreiche Integration von Signaltechnikkomponenten wie WOC in zukunftsfähige Systeme. Das betrifft insbesondere den Austausch von betriebsnotwendigen und nicht-betriebsnotwendigen Informationen zwischen Feldelementen und übergeordneten Systemebenen in offenen Kommunikationsnetzen. Hier braucht es zukunftssichere und flexible Lösungen, um den Datenaustausch betriebssicher zu gestalten und zugleich den Risiken von Cyberangriffen Rechnung zu tragen.

Für seine Kunden hat Frauscher das Konzept Frauscher Connect entwickelt, das sämtliche dieser Anforderungen erfüllt. Es ist als Set von Softwaremodulen konzipiert, das auf ausgewählter Hardware individuell auf den Bedarf der Bahnbetreiber und ihre Projekte angepasst wird. Durch zeitgemäße Security-Maßnahmen, wie Verschlüsselung oder das Logging von security-relevanten Ereignissen, ermöglicht Frauscher Connect die Kommunikation in Netzwerken der Kategorie 3 zwischen Feldelementen, Stellwerken und übergeordneten Diagnose- und Wartungssystemen. Die Hauptfunktion dabei ist der redundant sichere und verschlüsselte Datenaustausch. Um Security dauerhaft zu gewährleisten, sind regelmäßige Updates notwendig, welche im Rahmen von Serviceverträgen zeitnah zur Verfügung gestellt werden.

Die Kombination aus standardisierten Softwareschnittstellen und universell einsetzbarer Hardware ermöglicht eine schnelle Integration der Frauscher Produkte im Feld und später die sichere Kommunikation zur Signaltechnik sowie zu Wartungs- und Diagnosesystemen.

3 Projektbeispiele: Einsatz moderner WOC von Frauscher

Auf Basis der langen Erfahrung in der Entwicklung von Eisenbahnsicherheitstechnik hat Frauscher Sensortechnik WOC als zukunftsweisende Lösungen entwickelt. Erste Projekte in diesem Bereich zeigen das Potenzial der WOC Strategie:

3.1 SNCF

Der französische Bahninfrastrukturbetreiber SNCF Réseau hat Frauscher mit der Entwicklung, der Implementierung und der betrieblichen Instandhaltung einer neuen Generation von Achszählsystemen beauftragt. Voraussetzungen waren die Umsetzung der

development of CCS. In addition to operational safety, modern systems are also increasingly focusing on security. WOC with secure, standardised interfaces such as EULYNX meet the highest demands for both factors. Various Frauscher projects have clearly demonstrated this great potential.

2.1 High relevance for different requirements

Safety applications are expected to be durable and to possess low maintenance requirements. Security functions, on the other hand, must be able to react to any new requirements and risks in an agile and dynamic manner.

There are interactions between the two areas, such as the protection of communication for safety applications by security. Nevertheless, the design and operation of the corresponding systems differ considerably. Among other things, this is made clear by the different lifecycles of the components: they are considerably longer for safety-related technology than for security-related components, which is due to the computer-based approach (embedded computer platform with Linux operating system).

A clear separation in modern WOC makes it possible to control the technical dependency of safety and security. For operators, this enables the flexible and needs-based procurement of new components, which in turn offers a clear cost advantage.

2.2 Connectivity as the key to secure applications

The reliability and security of the connectivity is crucial to the successful integration of signalling technology components such as WOC into future-proof systems. This applies in particular to the exchange of operational and non-operational information between field elements and higher-ranking systems in open communication networks. Future-proof and flexible solutions are needed here to make data exchange operationally safe and at the same time to take the risk of cyber-attacks into account.

Frauscher has developed the Frauscher Connect concept for its customers in order to fulfil all these requirements. It has been designed as a set of software modules that are customised to the needs of railway operators and their projects pertaining to selected hardware. Thanks to modern security measures such as encryption or the logging of security-relevant incidents, Frauscher Connect enables communication between field elements, interlockings and higher-level diagnostic and maintenance systems in category 3 networks. The main function is redundant, secure and encrypted data exchange. Regular updates are necessary so as to guarantee security in the long term and they are provided promptly as part of the service contracts.

The combination of standardised software interfaces and universally applicable hardware enables the rapid integration of Frauscher products in the field. The integration of Frauscher products also ensures safe and secure communications with the signalling technology, as well as the maintenance and diagnostic systems.

3 Project examples: the application of modern WOC from Frauscher

Frauscher Sensor Technology has developed WOC as future-oriented solutions based on its many years of experience in the development of railway safety technology. Initial projects in this area have demonstrated the potential of the WOC strategy:

3.1 SNCF

The French railway infrastructure operator SNCF Réseau has commissioned Frauscher with the development, implementation

Spezifikationen von EULYNX Baseline 4 SCI-TDS, SDI-TDS und die sichere Kommunikation über offene Netzwerke.

Dass ein Betreiber dezidiert WOC entwickeln lässt und beschafft, war ein neuer Weg in der Branche. Die Strategie betont das Potenzial der modularen Signaltechnik. Denn das Projekt lief unabhängig von der bestehenden Signaltechnik (Control, Command and Signalling, CCS) ab. SNCF hat sich mit diesem Projekt nicht nur technisch, sondern auch organisatorisch als Vorreiter in der Integration neuer Signaltechnik etabliert.

3.2 Deutsche Bahn AG (NeuPro)

Unter dem Namen „Neue Produktionsverfahren“ (NeuPro) setzt die Deutsche Bahn AG (DB) digitale Signal- und Stellwerkstechnik mit EULYNX Baseline 3 SCI-TDS als Protokoll für den sicheren Datenaustausch um. Derzeit laufen mehrere Pilotprojekte unterschiedlichen Umfangs und Komplexität, in denen Komponenten verschiedener Hersteller eingesetzt werden. Ziel der Pilotprojekte war auch, die Umsetzbarkeit der Technik zu beweisen und die entsprechenden Komponenten zur Serienreife zu entwickeln sowie sie zu zertifizieren.

Über die konkreten Projekte hinaus haben die NeuPro-Vorhaben auch weiteren, unabhängigen Lieferanten von Signaltechnik den Zugang zum deutschen Markt ermöglicht. Frauscher konnte so als Vorreiter für EULYNX-Lösungen neue Marktakteure setzen und zur Zulassung bringen. WOC mit getesteten EULYNX-Schnittstellen sind somit als zugelassene Lösung am Markt verfügbar. Sie können weiterentwickelt und in Projekten eingesetzt werden.

3.3 ÖBB

In Österreich wurde schon früh ein erstes Projekt auf Basis von EULYNX Baseline 2 realisiert. In diesem Projekt konnte Frauscher zusammen mit einem Integrator beweisen, dass die standardisierten Schnittstellen funktionieren und dass zwei unabhängige Unternehmen in der Lage sind, gemeinsam ein Projekt abzuwickeln. So gab das Projekt der Entwicklung von EULYNX einen wichtigen Schub.

Nun schreiben die Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) digitale Stellwerke auf Basis von EULYNX Baseline 4 aus. Dabei werden sämtliche Spezifikationen vollständig in Übereinstimmung mit EULYNX erstellt. Diese Ausschreibung darf als Vorzeigebispiel dafür gelten, wie der Standard EULYNX eingesetzt werden kann: Direkte und klare Verweise auf die Spezifikation werden nicht mit zusätzlichen Anforderungen verwässert. Zudem beschreibt das Projekt EULYNX-Schnittstellen zu Object Controllern auf Basis eines offenen Netzwerkes nach Kategorie 3.

and the operational upkeep of a new generation of axle counting systems. The prerequisites were the implementation of the EULYNX Baseline 4 SCI-TDS, the SDI-TDS specifications and secure communication via open networks.

Having an operator develop and procure a dedicated WOC represented a novel approach in the industry. This strategy emphasises the potential of modular signalling technology, as the project ran independently of the existing signalling technology (CCS). With this project, SNCF has established itself not only technically, but also organisationally as a pioneer in the integration of new signalling technology.

3.2 Deutsche Bahn AG (NeuPro)

Deutsche Bahn AG (DB) is implementing digital signalling and interlocking technology with EULYNX Baseline 3 SCI-TDS as the protocol for safe and secure data exchange under the name “Neue Produktionsverfahren (New Production Processes)” (NeuPro). Several pilot projects of varying scope and complexity, in which components from different manufacturers are being used, are currently underway. The aim of the pilot projects is also to prove the feasibility of the technology and to develop and certify the corresponding components for serial production.

In addition to the specific projects, the NeuPro projects have also enabled other independent suppliers of signalling technology to gain access to the German market. As a pioneer for EULYNX solutions, Frauscher was thus able to set new market trends and receive approval. WOC with tested EULYNX interfaces are now available on the market as approved solutions that can be further developed and used in projects.

3.3 ÖBB

The first project based on EULYNX Baseline 2 was realised early on in Austria. In this project, Frauscher and an integrator were able to prove that the standardised interfaces work and that two independent companies are able to effectively collaborate and handle a project of such magnitude together. Consequently, the project provided an important boost to the development of EULYNX.

The Austrian Federal Railways (ÖBB) are now calling for tenders for digital interlockings based on EULYNX Baseline 4. All the specifications will be drawn up in full compliance with EULYNX. This tender can be seen as a prime example of how the EULYNX standard can be used: direct and clear references to

Zukunft ist Digitalisierung

SAFERAIL
www.safetrail.de

InnoTrans 2024
24. - 27. September | Berlin
Internationale Fachmesse für Verkehrstechnik
Sie finden uns: Halle 5.2b, Stand 160

Wir stellen ein

3.4 Die Stärken von WOC mit EULYNX

Die beschriebenen Projekte sind auf den ersten Blick sehr unterschiedlich. Doch gerade diese Heterogenität macht die Anpassungsfähigkeit und damit die Leistungsfähigkeit von WOC mit EULYNX als Standard für die Datenübertragung aus. Damit wird in diesen frühen Referenzen bereits deutlich, welches Potenzial dezentrale Systeme für Flexibilität in Ausschreibungen und Betrieb haben.

4 Ausblick: WOC erfolgreich etablieren

Der Beitrag hat die großen Potenziale des Einsatzes moderner WOC für die Eisenbahnsignaltechnik gezeigt. Derzeit stehen Betreiber und Hersteller vor der Herausforderung, die Technologie umfassend im Feld zu etablieren:

4.1 Technik und Projektkompetenz sind vorhanden

Hersteller wie Frauscher haben mit Projekten in verschiedenen europäischen Ländern gezeigt, dass sowohl die Technik als auch die entsprechende Projektkompetenz vorhanden ist: Moderne WOC mit EULYNX lassen sich erfolgreich dazu einsetzen, den branchenetablierten Vendor Lock-In zu vermeiden. Damit werden neue, herstellerübergreifende Ausschreibungen mit entsprechenden Kostenvorteilen möglich.

Hier müssen Betreiber eine gute Balance zwischen Modularisierung und wirtschaftlichen Skaleneffekten finden, indem sie Ausschreibungen in sinnvolle Einheiten unterteilen – nicht jeder WOC braucht eine eigene Ausschreibung.

4.2 Raus aus der Komfortzone

Innovative Technik für Lösungen genau nach dem Bedürfnis der Kunden: Um die Vorteile von WOC zu nutzen, müssen sowohl Signaltechnikhersteller wie auch Bahninfrastrukturbetreiber ihre etablierten Komfortzonen verlassen. Dazu müssen Betreiber, wie in den beschriebenen Projekten, einen Teil der Verantwortung übernehmen, die früher ausschließlich beim Integrator lag.

4.3 Standards über Ländergrenzen hinaus

Durch den Einsatz von EULYNX kann bei der Entwicklung von modernen WOC auf Testlabors für nationale Standards verzichtet werden. Das macht Abnahmen über Ländergrenzen hinweg ohne unnötige Zulassungen und erneutes Testen möglich. Für Betreiber bedeutet das in einer Zeit erheblichen Sanierungs- und Modernisierungsbedarfs in der Bahninfrastruktur einen wertvollen Zeitgewinn und Kosteneinsparung. So tragen WOC erheblich zur Zukunft der Eisenbahn bei. ■

the specification have not been diluted with any additional requirements. In addition, the project describes EULYNX interfaces to object controllers based on open category 3 networks.

3.4 The strengths of WOC with EULYNX

At first glance, the projects outlined above are very different. However, it is precisely this heterogeneity that characterises the adaptability and therefore the performance of WOC with EULYNX as the standard for data transmission. These early references already clearly demonstrate the potential of decentralised systems for establishing a greater degree of flexibility in tenders and operations.

4 Outlook: successfully establishing WOC

This article has shown the great potential of using modern WOC for railway signalling technology. Operators and manufacturers are currently facing the challenge of establishing the technology comprehensively in the field:

4.1 Technology and project expertise are available

With projects in various European countries, manufacturers such as Frauscher have demonstrated that both the technology and the corresponding project expertise are available: modern WOC with EULYNX can be successfully used to avoid the vendor lock-in that has become established throughout the industry. This enables new, cross-vendor tenders with corresponding cost benefits.

Here, operators need to find a good balance between modularisation and economies of scale by dividing tenders into meaningful units – not every WOC needs its own tender.

4.2 Out of the comfort zone

Innovative technology for solutions tailored precisely to the customer's needs: in order to utilise the benefits of WOC, both signalling technology manufacturers and railway infrastructure operators must leave their established comfort zones. To do this, operators, as outlined in the projects above, must take on some of the responsibility that used to lie exclusively with the integrator.

4.3 Standards beyond national borders

The use of EULYNX means that test laboratories for national standards can be disposed of in the development of modern WOC. This makes acceptance tests across national borders possible without any unnecessary approvals and retesting. For operators, this means valuable time and cost savings at a time when there is a considerable need for the refurbishment and modernisation of the railway infrastructure. In this way, WOC are making a significant contribution to the future of railways. ■

AUTOREN | AUTHORS

DI (FH) Florian Einböck
Product Manager
E-Mail: florian.einboeck@frauscher.com

Ing. Ulrich Jansko
Project Manager
E-Mail: ulrich.jansko@frauscher.com

Beide Autoren / both authors:
Frauscher Sensortechnik GmbH
Anschrift / Address: Gewerbestraße 1, A-4774 St. Marienkirchen/Schärding

LITERATUR | LITERATURE

- [1] Deutsche Bahn Daten & Fakten 2023 (https://ir.deutschebahn.com/fileadmin/Bildmaterial/2024/Daten_und_Fakten_2023_Deutsche_Bahn.pdf, 18.06.2024, 11:15)
- [2] Büker, Th. et al.: Zum verkehrlichen Nutzen der Digitalen Schiene Deutschland, DER EISENBAHNINGENIEUR 2/2024, S. 47-52
- [3] EULYNX System Architecture, Diagram Version: v1.28 20230621, in: Eu.Doc.7_A1, Version 4.2 (0.A)



Bleiben Sie in der Spur!

Mit dem Newsletter von

Eurail
press

**Jetzt
anmelden!**

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

Hinterfrage deine Annahmen: Praxiserfahrungen mit Testautomatisierung und Pentests

Question your assumptions: Practical experience with test automation and pentests

Martin Koop | Leon Hagemann | Alain Kaffo

In der modernen Eisenbahnindustrie spielen Penetrationstests (Pentests) und funktionale Tests eine zentrale Rolle für die Sicherstellung der Sicherheit und Zuverlässigkeit komplexer Betriebs- und Steuerungssysteme (Operational Technology – OT). Diese Tests dienen der Qualitätssicherung und sind entscheidend für den reibungslosen Betrieb sowie den Schutz vor Sicherheitsbedrohungen. Während funktionale Tests die korrekte Funktionsweise der Systeme überprüfen, zielen Pentests darauf ab, potenzielle Sicherheitslücken zu identifizieren. In diesem Beitrag werden die Unterschiede und Bedeutung sowie die Planung, Durchführung und Herausforderungen anhand zweier Projekte rund um das Radio Block Centre (RBC) sowie im bahnbetrieblichen Übertragungssystem des Digitalen Stellwerks (DSTW) detailliert erläutert.

1 Unterschied zwischen Pentest und funktionalen Tests

Funktionale Tests stellen sicher, dass alle OT-Systeme und Software-Komponenten wie vorgesehen funktionieren und sämtliche spezifizierten Anforderungen erfüllen. Sie gewährleisten, dass die komplexen Systeme unter realistischen Betriebsbedingungen korrekt arbeiten und alle sicherheits- und betriebsrelevanten Prozesse zuverlässig ablaufen. Beispielsweise wird überprüft, ob Signale korrekt ausgelöst werden oder die Kommunikation zwischen Systemkomponenten nach Anforderung/Spezifikation funktioniert.

Pentests dagegen zielen darauf ab, potenzielle Sicherheitslücken zu identifizieren, die OT-Systeme gefährden könnten. Diese Tests simulieren die Methoden eines Angreifers, um beispielsweise Schwachstellen in der Netzwerksicherheit, der Software und den Konfigurationen aufzudecken. Dabei werden beispielsweise Funktionen über den „Rand“ ihrer Anforderungsspezifikation gebracht, um die unautorisierte Kontrolle des Systems zu erlangen, was der wesentliche Unterschied zu funktionalen Tests ist. Die Angriffssimulation wird oft auch als Red Teaming bezeichnet und in diesem Beitrag synonym verwendet.

2 Wieso müssen Pentests und funktionale Tests durchgeführt werden?

Angesichts der zunehmenden Digitalisierung und Vernetzung von IT/OT-Systemen wird die Gewährleistung ihrer Sicherheit immer wichtiger. Der Eisenbahnsektor unterliegt hier strengen gesetzlichen Vorschriften und Standards auf europäischer und nationaler Ebene, die spezifische IT/OT-Sicherheitsanforderungen, darunter die Durchführung von Penstests und funktionalen Tests, fordern (siehe Tab. 1).

Penetration tests (pentests) and functional tests play a central role in the modern railway industry when ensuring the safety and reliability of complex operational technology (OT) systems. These tests are used for quality assurance and are crucial for smooth operations and protection against any security threats. While functional tests verify the correct functioning of systems, pentests aim to identify any potential security vulnerabilities. This article explains the differences between these two test types in detail, as well as their importance and implementation, with reference to two projects related to an Radio Block Centre (RBC) and a communication network within a digital interlocking (DSTW).

1 The difference between pentests and functional tests

Functional tests ensure that all the OT systems and software components are functioning as intended and that they meet all the specified requirements. They guarantee that the complex systems are working correctly under realistic operating conditions and that all the safety, security and any operationally relevant processes are running reliably. For example, tests are undertaken to ascertain whether signals are triggered correctly or the communication between system components is functioning according to the requirement specifications. Pentests, on the other hand, aim to identify any potential security vulnerabilities that could jeopardise the OT systems. These tests simulate the methods used by an attacker to uncover any vulnerabilities in the network security, software and configurations. For example, system functions are taken beyond the “edge” of their requirement specification in order to gain unauthorised control of the system, which is the main difference compared to functional tests. The attack simulation is also often referenced as Red Teaming and used synonymously in this article.

2 Why do pentests and functional tests have to be carried out?

Ensuring the security of IT/OT systems is becoming increasingly important in light of the progressively digitalisation and communication within them. The railway sector is subject to strict legal regulations and standards at the European and national levels that demand specific IT/OT security requirements, including the performance of pentests and functional tests (see tab. 1).

3 The advantages of functional tests in the railway sector

Functional tests are part of the verification process when implementing the defined specification requirements and are therefore crucial for ensuring the safety, reliability and efficiency of

Anforderungen	NIS 2	EU Cyber Resilience Act	EU Cyber-Security Act	TSI ZS	CENELEC 50128, 50129	BSI IT-SiG / KRITIS	ISO 27001/2:2022	ISO/IEC 62443	TS 50701:2023
Pentest	Nr. 58	Anhang 1	Chapter VI, Nr. 52	Verschiedene (Interoperabilität)	Abschnitt 6 & 7	§ 8a	Nr. 8.29	62443-3-3, 62443-4-1	Abschnitt 9.3.2
Testing	Nr. 15	Nr. 44	Chapter VI, Nr. 51-53	Verschiedene (Interoperabilität)	Abschnitt 6 & 7	§ 8a	Nr. 8.29	62443-3-3, 62443-4-1	Abschnitt 9.3.2

Tab. 1: Gesetzliche und normative Anforderungen für Pentests und funktionale Tests

Quelle/Source: INCYDE

Requirements	NIS 2	EU Cyber Resilience Act	EU Cyber-Security Act	TSI CCS	CENELEC 50128, 50129	BSI IT-SiG / KRITIS	ISO 27001/2:2022	ISO/IEC 62443	TS 50701:2023
Pentest	Nr. 58	Appendix 1	Chapter VI, Nr. 52	Various (Interoperability)	Section 6 & 7	§ 8a	Nr. 8.29	62443-3-3, 62443-4-1	Section 9.3.2
Testing	Nr. 15	Nr. 44	Chapter VI, Nr. 51-53	Various (Interoperability)	Section 6 & 7	§ 8a	Nr. 8.29	62443-3-3, 62443-4-1	Section 9.3.2

Tab. 1: The legal and normative requirements for pentests and functional tests

Quelle/Source: INCYDE

3 Vorteile funktionaler Tests im Eisenbahnsektor

Funktionale Tests sind Teil der Nachweisführung zur Umsetzung der definierten Lastenheftanforderungen und damit entscheidend für die Sicherstellung der Sicherheit, Zuverlässigkeit sowie Effizienz der Bahninfrastruktur. Diese Tests ermöglichen die frühzeitige Erkennung von Fehlern, wodurch potenzielle Betriebsstörungen und Unfälle vermieden werden können. Sie minimieren Risiken, indem sie sicherstellen, dass alle sicherheitskritischen Systeme und Komponenten zuverlässig arbeiten. Durch funktionale Tests wird die Qualität der OT-Systeme kontinuierlich überwacht und verbessert, was zu einer höheren Betriebsqualität führt. Diese Tests tragen auch dazu bei, spätere Kosten zu vermeiden, indem sie Probleme frühzeitig identifizieren und beheben, bevor sie zu teuren Reparaturen und langen Ausfallzeiten führen. Dabei ist es essenziell, dass Testfälle schon früh vor der Integration und auch bei jeder Änderung, vor allem im Betrieb, durchgeführt werden. Ein weiterer zentraler Aspekt ist die Sicherstellung der Kompatibilität neuer und geänderter Bestandssysteme.

3.1 Warum funktionale Tests automatisiert werden sollten

Die Komplexität moderner OT-Systeme im Eisenbahnsektor, wie im Projektbeispiel des zu testenden DSTW-Übertragungssystems, erfordert eine Automatisierung der Testfälle, um die notwendige Effizienz und Geschwindigkeit der Testzyklen zu gewährleisten. Im Projektbeispiel wäre die enorme Anzahl an mehreren tausend Netzwerkkomponenten im Feld, mit deren resultierender Konfiguration in hunderten von Testfällen, manuell nicht testbar. Nur durch die Automatisierung ist es möglich, die umfangreichen Testfälle zu bewältigen und schnell auf Änderungen reagieren zu können. Langfristig führt dies zu erheblichen Kosteneinsparungen und einer höheren Qualität der Komponenten. Automatisierte Tests bieten zudem konsistente und wiederholbare Ergebnisse, eliminieren menschliche Fehler und ermöglichen eine umfassendere Testabdeckung. Sie erleichtern Regressionstests und gewährleisten, dass neue Änderungen keine bestehenden Funktionen beeinträchtigen.

3.2 Tools zur Testautomatisierung

Für die Testautomatisierung der Firewall-Komponenten im Übertragungssystem des DSTW wurde ein skalierbares Setup realisiert (Bild 1). Dieses ermöglicht neben der Automatisierung des Testprozesses eine detaillierte Überwachung und Analyse der Testergebnisse in Echtzeit, eine zentrale Steuerung sowie verständliche Visualisierung. **Kibana** dient dabei als Benutzeroberfläche für **Elasticsearch**, die zentrale Datenbank zur Speicherung und Abfrage von Logs und Me-

asures of the railway infrastructure. These tests enable faults to be recognised at an early stage, which means that potential disruptions to operations and accidents can be avoided. They minimise risks by ensuring that all the safety-critical systems and components are working reliably.

Functional tests continuously monitor and improve the quality of the OT systems, resulting in a higher operating quality. These tests also help avoid any later costs by identifying and resolving problems at an early stage before they can lead to expensive repairs and long downtimes. It is essential that the test cases are carried out at an early stage before integration and also in relation to every change, especially during operations. Another key aspect involves ensuring the compatibility of any new and modified existing systems.

3.1 Why functional tests should be automated

The complexity of modern OT systems in the railway sector, as in the project example involving the communication network for the DSTW, requires the automation of the test cases in order to ensure the necessary efficiency and speed of the test cycles. In the project, the enormous number of several thousand network components in the field, with their configuration resulting in hundreds of test cases, could not be tested manually.

Only automation makes it possible to manage the extensive test cases and to react quickly to any changes. This leads to considerable cost savings and higher component quality in the long term. Automated tests also provide consistent and repeatable results, eliminate human error and enable more comprehensive test coverage. They facilitate regression tests and ensure that any new changes do not affect the existing functions.

3.2 The test automation tools

A scalable setup was created for the test automation of the firewall components used in the DSTW communication network (fig. 1). In addition to automating the test process, this also enables detailed monitoring and analysis of the test results in real time, central control and clear visualisation.

Kibana serves as the user interface for **Elasticsearch**, the central database for storing and querying logs and metrics. **Grafana** provides a dashboard to visualise the data from **Elasticsearch** and **Prometheus**, which especially collects metrics from **Jenkins**, the automation server for Continuous Integration and Continuous Deployment (CI/CD). **Jenkins** runs automated pipelines that retrieve and execute test scripts from **Gitea**, a self-hosted

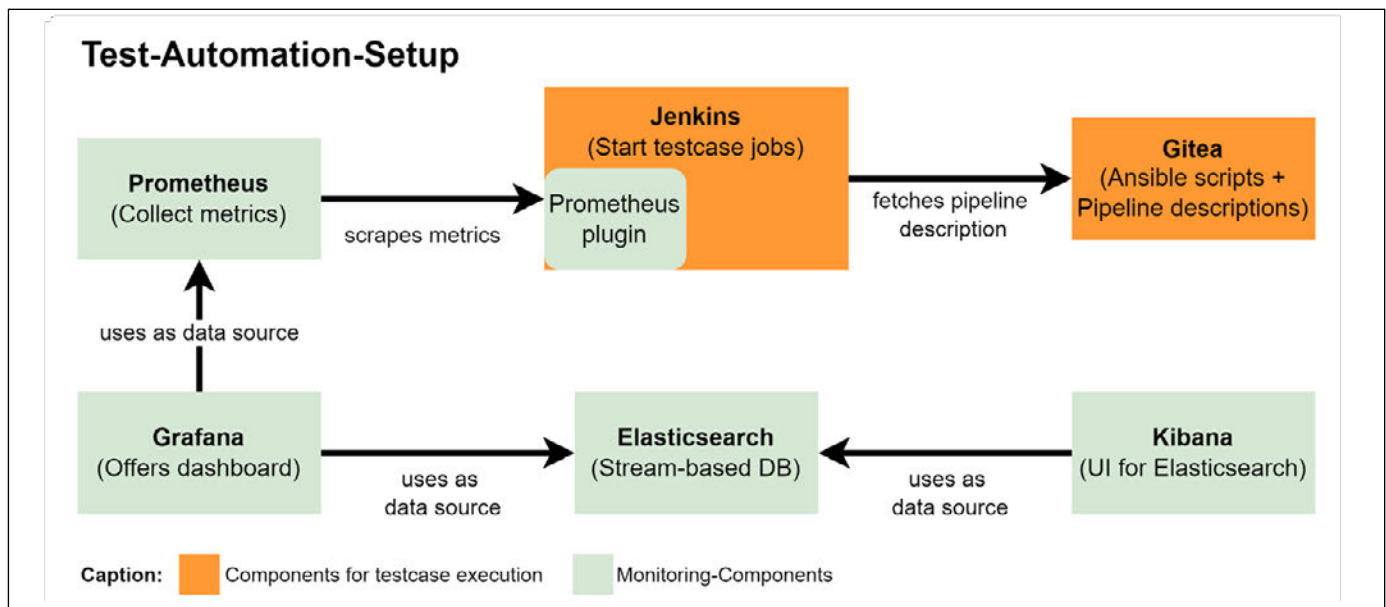


Bild 1: Setup der Testautomatisierungs-Infrastruktur

Fig. 1: The test automation infrastructure setup

Quelle / Source: INCYDE

triken. **Grafana** bietet ein Dashboard zur Visualisierung der Daten aus **Elasticsearch** und **Prometheus**, das Metriken sammelt, insbesondere aus **Jenkins**, dem Automatisierungsserver für Continuous Integration und Continuous Deployment (CI/CD). **Jenkins** führt automatische Pipelines aus, die Testskripte aus **Gitea**, einer selbstgehosteten Git-Diensteplattform, abrufen und ausführen. **Terraform** stellt die Skalierung der Server/Instanzen sowie die Konfiguration der Netzwerkkomponenten der gesamten Infrastruktur bereit.

3.3 Herausforderungen und Lösungen in der Testautomatisierung

Die Einführung und Implementierung funktionaler Tests sowie die Testautomatisierung stehen vor vielfältigen Herausforderungen. Hohe anfängliche Investitionen in Tools und Infrastruktur, Komplexität der zu testenden Systeme und die Erstellung entsprechender Testskripte stellen oft zu Beginn eine finanzielle Hürde dar. Ebenso können fehlende Fachkenntnisse im Team die Effektivität der Tests reduzieren. Maßnahmen zur Bewältigung dieser Herausforderungen umfassen die Auswahl von Open-Source-Lösungen, den Einsatz eines erprobten Automatisierungs-Setups und die Einstellung erfahrener Expertenteams.

Probleme stellen auch andauernde Änderungen von Anforderungen oder Systemupdates dar. Veraltete Testfälle, erhöhter Wartungsaufwand und Synchronisation mit allen Beteiligten sind die Folge. Die Etablierung von Prozessen und Integration einer Testautomatisierungs-Pipeline kompensierten dies im Projekt. Dabei ist es essenziell, Versionierungssysteme einzusetzen, um Änderungen der Lastenhefte und deren Testfälle nachzuverfolgen sowie die Abdeckung nachzuweisen. Zusätzlich zeigt sich die Planung von Code- und Peer-Reviews als sinnvoll, um korrekte und vollständige Tests sicherzustellen. Im optimalen Fall sollten modulare Testskripte parallel zur Komponentenentwicklung erstellt werden, um sicherzustellen, dass Tests auf dem neuesten Stand sind sowie leicht angepasst werden können.

Die Abhängigkeit von anderen Teilsystemen, eine gemeinsam genutzte Testumgebung und die resultierende Koordination mit unterschiedlichen Teams stellen eine zusätzliche Herausforderung dar. Diese spiegelt sich in Ressourcenkonflikten und instabiler Testum-

gebung dar. **Git** service platform. **Terraform** provides the scaling of the servers/instances and the configuration of the network components from the entire infrastructure.

3.3 The challenges and solutions in test automation

The introduction and implementation of functional tests and test automation face a variety of challenges. High initial investments in tools and infrastructure, the complexity of the systems to be tested and the creation of corresponding test scripts often represent a financial hurdle at the beginning. A lack of expertise in the team can also reduce the effectiveness of the tests. Measures to overcome these challenges include the selection of open source tools and the use of a proven and tested automation setup, as well as an experienced team of experts.

Ongoing changes to requirements or system updates also pose problems. This results in outdated test cases, increased maintenance costs and synchronisation with all the parties involved. The establishment of processes and the integration of a test automation pipeline has compensated for this. It is essential to use versioning systems in order to track the changes to the specifications and their test cases, as well as to prove coverage. In addition, the planning of code and peer reviews is also useful in order to ensure correct and complete tests. Ideally, modular test scripts should be created in parallel with the component development in order to guarantee that the tests are up to date and can be easily adapted.

The dependency on other subsystems, a shared test environment and the resulting coordination with different teams poses an additional challenge. This is reflected in resource conflicts and an unstable test environment.

In addition to careful planning and test strategies, the solution requires the implementation of a comprehensive monitoring and alerting system as well as the creation of an isolated test infrastructure on virtual container systems.

Last but not least, limited resources such as time, budget and a lack of support from management can also affect the implementation and acceptance of test automation. These challenges require a holistic approach, clear objectives and the development

gebung wider. Die Lösung erfordert eine sorgfältige Planung und Teststrategien, die Implementierung eines umfassenden Monitoring- und Alarmierungs-Systems sowie den Aufbau einer isolierten Testinfrastruktur auf virtuellen Container-Systemen.

Nicht zuletzt können beschränkte Ressourcen wie Zeit, Budget und die mangelnde Unterstützung seitens des Managements die Umsetzung und Akzeptanz der Testautomatisierung beeinträchtigen. Diese Herausforderungen erfordern eine ganzheitliche Herangehensweise, klare Zielsetzungen und die Entwicklung von Business Cases, welche die Qualitätsverbesserung und Kostenersparnis darstellen. Darüber hinaus wird die Akzeptanz verbessert durch die Einführung von kleinen Pilotprojekten, welche den Nutzen und die Effektivität der Testautomatisierung demonstrieren. Regelmäßige Reports, welche die kontinuierliche Verbesserung der Testprozesse darstellen, zeigen zusätzlich die Qualität und Effizienz der Testautomatisierung.

4 IT- vs. OT-Pentesting

IT-Pentesting konzentriert sich auf die Sicherheit von Informationssystemen, wie Servern, Netzwerken und Anwendungen, und kann häufig remote durchgeführt werden. OT-Pentesting hingegen befasst sich mit industriellen Steuerungssystemen wie SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)-Systemen, die spezifische Kenntnisse und Fähigkeiten erfordern. OT-Pentests müssen oft vor Ort durchgeführt werden, um die Auswirkungen auf die physischen Prozesse zu berücksichtigen.

Insgesamt erfordert OT-Pentesting eine spezialisiertere Herangehensweise als IT-Pentesting, da selten automatisierte Tools auf spezifischen Hardwarekomponenten und Protokollen eingesetzt werden können.

4.1 Warum Pentesting bei der Bahn?

Mit der fortschreitenden Digitalisierung und Einführung neuer Technologien wie dem DSTW und dem bahnbetrieblichen IP-Netz (bbIP) steigt die Komplexität der Systeme und damit auch das Risiko von Sicherheitslücken.

Diese neuen Technologien bilden die Grundlage für weitere Folgeprojekte, wie beispielsweise Automatic Train Operation (ATO), die eine noch engere Verzahnung von IT- und OT-Systemen erfordern. Pentesting trägt durch initiale und regelmäßige Überprüfung der Systeme und Netzwerke dazu bei, die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Bahnverkehrs zu gewährleisten, potenzielle Schwachstellen zu identifizieren und das Vertrauen der Fahrgäste und anderer Stakeholder zu stärken. So können Auswirkungen von potenziellen Angriffen simuliert und geeignete Gegenmaßnahmen rechtzeitig ergriffen werden. Für eine realistische Bewertung ist es von entscheidender Bedeutung, die Systeme mit Angriffsmethoden zu penetrieren, anstatt nur bekannte Listen von Schwachstellen zu prüfen. Es ist wie Schattenboxen und Sparring. Wer nur Schwachstellen-Scans (Schattenboxen) durchführt, findet erst im echten Kampf (Angriff) heraus, wie viel man einstecken kann. Dann ist es zu spät, um zu reagieren. Die Durchführung von Angriffen (Sparring) ist daher die beste Möglichkeit, den Ernstfall zu simulieren, um vorbereitet zu sein.

4.2 Herausforderungen und Besonderheiten – Pentesting im Bahnwesen

Pentesting im Bahnwesen stellt aufgrund der teilweise unvollständigen Dokumentenlage, der heterogenen System- und Komponentenlandschaft sowie dem häufigen Auftreten von proprietären Protokollen eine anspruchsvolle Aufgabe dar, da häufig keine Standardtools eingesetzt werden können. So ist eine individuelle und aufwendige Entwicklung von Testmethoden und -werkzeugen er-

forderung, die Geschäftsfälle, die Qualität verbessern und Kosten sparen. Außerdem wird die Akzeptanz durch die Einführung von kleinen Pilotprojekten verbessert, die sowohl die Vorteile als auch die Effektivität der Testautomatisierung demonstrieren. Regelmäßige Reports, die den kontinuierlichen Fortschritt der Testprozesse zeigen, demonstrieren ebenfalls die Qualität und Effizienz der Testautomatisierung.

4 IT vs OT pentesting

IT pentesting focuses on the security of information systems, such as servers, networks and applications, and can often be carried out remotely. OT pentesting, on the other hand, deals with industrial control systems such as SCADA systems that require specific knowledge and skills. OT pentesting often needs to be carried out on-site in order to consider the impact on the physical processes.

Overall, OT pentesting requires a more specialised approach than IT pentesting, as automated tools can rarely be used on specific hardware components and protocols.

4.1 Why pentesting on the railway?

As digitalisation progresses and new technologies such as the DSTW and the railway IP network (bbIP) are introduced, the complexity of the systems increases and with it the risk of security gaps.

These new technologies form the basis for further follow-up projects, such as Automatic Train Operation (ATO), which require an even closer integration of the IT and OT systems. Pentesting helps ensure the security and reliability of rail transport, identify any potential vulnerabilities and strengthen the trust of passengers as well as other stakeholders by initial and regularly checking the systems and networks. This allows the effects of any potential attacks to be simulated and suitable countermeasures to be implemented in good time. Attacking the systems by adversarial means instead of just checking known lists of vulnerabilities is crucial for realistic evaluation. It is like shadow boxing and sparring. If you perform vulnerability scans (shadow boxing) only, you will only find out in the real fight (attack) how much you can take. This will be too late to react. So, performing attacks (sparring) is the best way to simulate the emergency case to be prepared.

4.2 The challenges and special features of pentesting in the railway sector

Pentesting in the railway sector is a challenging task due to the often incomplete documentation, the heterogeneous system and the component landscape, as well as the frequent occurrence of proprietary protocols, as it is often not possible to use standard tools. This means that the customised and complex development of test methods or tools is required.

The dependence on manufacturers to obtain detailed information, as well as a lack of or shared test environments, also make implementation more difficult. These challenges require thorough preparation and careful coordination between all the users at a test facility. Furthermore, legacy and proprietary systems as well as protocols are often meant to be secure as the source code is not known to public or widely spread. Practical experience proves the opposite. That's why, the main attitude in pentesting should be: "Question your assumptions."

In addition to IT driven pentests, it can also be useful to pursue red teaming activities on the organisation. This means, for example, using social engineering as an additional attack vector in

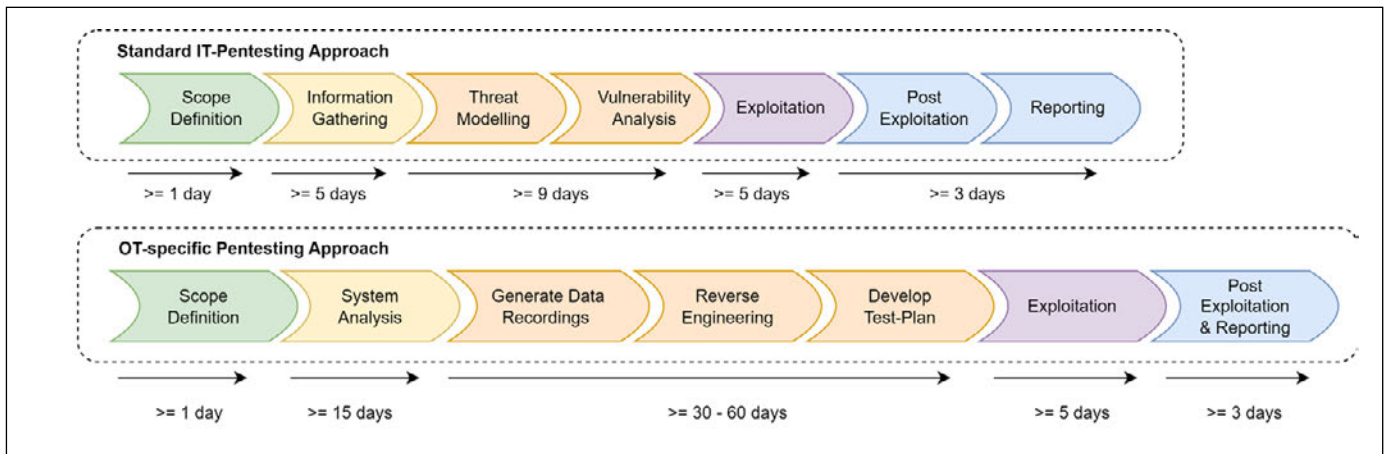


Bild 2: Beispielablauf OT-Pentest

Fig. 2: An example of an OT pentest procedure

Quelle / Source: INCYDE

forderlich. Die Abhängigkeit von Herstellern, um Detailinformationen zu erhalten, genauso wie mangelnde oder gemeinsam genutzte Testumgebungen erschweren zusätzlich die Durchführung. Diese Herausforderungen erfordern eine gründliche Vorbereitung und sorgfältige Koordinierung zwischen allen Nutzern einer Testanlage. Außerdem gelten alte und proprietäre Systeme sowie Protokolle oft als sicher, da der Quellcode nicht öffentlich bekannt oder weit verbreitet ist. Die praktische Erfahrung beweist das Gegenteil. Deshalb sollte die wichtigste Einstellung beim Pentesting sein: „Hinterfrage deine Annahmen“.

Neben klassischen IT-Pentests kann es auch sinnvoll sein, Red-Teaming-Ansätze innerhalb der Organisation durchzuführen. Dies bedeutet z.B. Social Engineering als zusätzlichen Angriffsvektor in Form von Phishing- oder Tailgating-Angriffen einzusetzen. Red Teaming hat dabei das Ziel, die gesamten Sicherheitsmechanismen der Organisation zu adressieren, einschließlich der Fähigkeit, Angriffe zu erkennen und zu verhindern. Ein Beispiel wäre die Prüfung von Zugangs- und Zugriffskontrollen an physischen Standorten. Das nachfolgende Szenario beschreibt einen Pentest, welcher in einer Laborumgebung durchgeführt wurde.

4.3 Ablauf eines Penetrationstests

Der Ablauf eines OT-Pentests wird am Beispiel eines tatsächlich durchgeführten Pentests innerhalb von Bild 2 skizziert. Der Pentest wurde in einer ETCS-Testumgebung (ETCS, European Train Control System) bestehend aus RBC inklusive Anbindung an ein LBS (Leit- und Bediensystem) sowie Elektronisches Stellwerk (ESTW) durchgeführt. Der Beispielablauf erfüllt hierbei nicht den Anspruch, als Blaupause für OT-Pentests zu dienen. Hierzu sind OT-Pentests im Allgemeinen zu abhängig vom vorliegenden Kontext. Nichtsdestotrotz kann der dargestellte Beispielablauf herangezogen werden, um Unterschiede zwischen IT- und OT-Pentests herauszuarbeiten. Bild 2 stellt den Zusammenhang der durchgeführten Schritte zu den allgemein anerkannten IT-Pentesting-Phasen heraus. Hierbei wird vor allem der Unterschied mit Blick auf den zeitlichen Horizont zwischen IT- und OT-Pentesting deutlich.

1. Scope Definition: Einschränkungen und Abgrenzungen müssen klar definiert werden, um den Pentest effektiv und reibungslos durchzuführen. Dies umfasst die Festlegung von Angriffsarten, die einbezogen oder ausgeschlossen werden, wie z.B. den Ausschluss von Denial-of-Service (DoS)-Angriffen, die aufwendige Neustarts erfordern könnten. Besonders bei komplexen OT-Anlagen wie beim ETCS oder DSTW ist es nicht immer möglich, diese schnell wieder in den Ausgangszustand zu versetzen. Zusätzlich müssen Annahmen getrof-

the form of phishing or tailgating attacks. So, red teaming aims to address the entire security mechanisms of the organisation, including the ability to avoid and detect attacks. One example would be the testing of access controls at physical locations. The following scenario describes a pentest performed in a lab environment.

4.3 The penetration test procedure

The OT pentest process is illustrated in fig. 2 using the example of an actual performed pentest. The pentest was carried out in an European Train Control System (ETCS) test environment consisting of an RBC, including a connection to an LBS (control and operating system) and electronic interlocking (ESTW). The example procedure is unable to serve as a blueprint for OT pentests, as OT pentests are generally too dependent on the context at hand. Nevertheless, the shown example procedure can be used to work out the differences between IT and OT pentests. Fig. 2 shows the relationship between the performed steps and the generally recognised IT pentesting phases. The difference in the time horizon between IT and OT pentesting also becomes particularly clear here.

1. Scope definition: Any restrictions and boundaries must be clearly defined in order for the pentest to be carried out effectively and smoothly. This includes the definition of the included or excluded attack types, such as the exclusion of Denial-of-Service (DoS) attacks that could require costly restarts. It is not always possible to quickly restore systems to their original state, especially in the case of complex OT systems such as ETCS or DSTW. Furthermore, certain assumptions must also be made, such as the availability of given functions, e.g. user accounts or accessibility via networks and systems. Finally, the target system and its relevant components and interfaces must be clearly defined in order to ensure that the pentest is focussed on the essential areas and has no unintended effects on the other systems.
2. The system analysis: Reviewing system documentation, architecture plans and configuration files is an important first step in understanding the target system and its components and identifying any vulnerabilities at an early stage. The existing security measures such as firewalls, Intrusion Detection System (IDS), Intrusion Prevention System (IPS) and encryption technologies are reviewed on this basis in order to assess their effectiveness and identify any vulnerabilities. This forms the

fen werden über die Verfügbarkeit bestimmter Funktionen, wie z.B. Benutzerkonten oder Zugänglichkeit über Netzwerke und Systeme. Schließlich müssen das Zielsystem und seine relevanten Komponenten und Schnittstellen klar definiert werden, um sicherzustellen, dass der Pentest auf die wesentlichen Bereiche fokussiert ist und keine unbeabsichtigten Auswirkungen auf andere Systeme hat.

2. Systemanalyse: Die Überprüfung von Systemdokumentationen, Architekturplänen und Konfigurationsdateien ist ein erster wichtiger Schritt, um das Zielsystem und seine Komponenten zu verstehen und Schwachstellen frühzeitig zu identifizieren. Auf dieser Basis werden die vorhandenen Sicherheitsmaßnahmen wie Firewalls, Intrusion Detection System (IDS), Intrusion Prevention System (IPS) und Verschlüsselungstechnologien überprüft, um ihre Wirksamkeit zu bewerten und Schwachstellen zu identifizieren. Dies bildet das übergeordnete Ziel, mögliche Angriffsvektoren zu bewerten, um den Pentest auf die kritischsten Bereiche zu konzentrieren. Wenn eine Risikoanalyse vorliegt, kann diese dabei helfen; die wahrscheinlichsten Angriffe zu identifizieren.
3. Anfertigung von Datenmitschnitten: Diese sind essenziell, um proprietäre oder unbekannte Protokolle zu analysieren. Durch das Aufzeichnen des Datenverkehrs kann die Funktionsweise des Systems besser verstanden und können Schwachstellen identifiziert werden. Datenmitschnitte helfen auch bei der Erstellung von Test-Skripten für Angriffe wie Man-in-the-Middle, bei denen der Datenverkehr manipuliert wird. Diese Umsetzung konnte im Projektbeispiel am RBC gezeigt werden.
4. Reverse Engineering: Datenpakete werden identifiziert und durch zeitliche Korrelation durchgeführter Aktionen am Zielsystem den Schnittstellen zugeordnet. Hierdurch können Datenpakete gezielt abgefangen und bei Bedarf manipuliert werden. Dabei werden Checksummen und Paritäten untersucht, um valide Pakete zu erzeugen. Diese Methoden dienen primär nicht als IT-Sicherheitsmechanismen, sondern helfen lediglich dabei, die Integrität und Korrektheit der übertragenen Daten aus funktionaler Sicht sicherzustellen und Übertragungsfehler zu verhindern. Im Gegensatz dazu dienen die implementierten IT-Sicherheitsmechanismen wie Verschlüsselung, Authentifizierung und Zugriffskontrolle dazu, das System vor Angriffen zu schützen. Durch die Analyse

overarching goal of evaluating possible attack vectors in order to focus the pentest on the most critical areas. If a risk analysis is available, this can help identify the most likely attacks.

3. Creating data recordings: These are essential for analysing proprietary or unknown protocols. The way the system functions can be better understood and any vulnerabilities can be identified by recording the data traffic. Data recordings also help create test scripts for attacks such as man-in-the-middle, in which data traffic is manipulated. This implementation was demonstrated in the RBC project example.
4. Reverse engineering: Data packets are identified and assigned to the interfaces through the temporal correlation of the actions performed on the target system. This allows data packets to be specifically intercepted and manipulated if necessary. Checksums and parities are analysed in order to generate valid packets. These methods do not primarily serve as IT security mechanisms, but merely help to ensure the integrity and correctness of the transmitted data from a functional perspective and to prevent any transmission errors. In contrast, the implemented IT security mechanisms, such as encryption, authentication and access control, serve to protect the system from attack. Analysing these mechanisms enables the vulnerabilities in the system to be identified and exploited in order to highlight any risks and recommend suitable countermeasures.
5. Developing a test plan: A detailed test plan that includes specific attack scenarios and standard scenarios is created based on the findings. Standard tools are used and specific test scripts that are tailored to the context of the system are developed. Specific test cases, such as in the RBC pentest project, are often written using scripting programming languages such as Python. Standard tools, on the other hand, can also be used to check user authentication, DoS protection or the extension of authorisations on systems that have already been compromised, for example. A heterogeneous (IT and OT-related) test plan is created, which should be agreed with the relevant stakeholders before testing begins in order to ensure a targeted test execution.

Your partner for confidence.

Train Detection

Data Transmission

Point Control

www.frauscher.com



**FIND OUT
MORE!**

FRAUSCHER

Gemeinsamkeiten	Unterschiede
<ul style="list-style-type: none"> • Den allgemein anerkannten Workflow-Phasen folgen • Standard-Tools kommen zum Einsatz • Übergeordnetes Ziel ist das Identifizieren von Schwachstellen • Ähnliche Fähigkeiten und Denkweisen, die von den Testern verlangt werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Workflow-Phasen sind bei OT-Pentests über einen größeren Zeitraum erstreckt • OT-Pentesting weist einen erhöhten Reverse-Engineering-Anteil auf und basiert verstärkt auf der Eigenentwicklung von Scripten/Tools zur Testfalldurchführung • OT-Pentesting weist einen höheren Bezug zu Risikoszenarien auf • OT → Linux-zentriert, IT → Windows-zentriert • IT-Pentesting in der Literatur und Praxis klar definiert, OT-Pentesting befindet sich in der Entwicklung

Tab. 2: IT- vs. OT-Pentesting

dieser Mechanismen können Schwachstellen im System identifiziert und ausgenutzt werden, um Risiken aufzuzeigen und geeignete Gegenmaßnahmen zu empfehlen.

5. Entwicklung eines Testplans: Auf Basis der Erkenntnisse wird ein detaillierter Testplan erstellt, der spezifische Angriffsszenarien und Standardszenarien umfasst. Dabei werden Standard-Tools verwendet sowie spezifische Test-Scripte entwickelt, die auf den Kontext der Anlage zugeschnitten sind. Spezifische Testfälle, wie im Pentest-Projekt zum RBC, werden oft mit Scripting-Programmiersprachen wie z.B. Python geschrieben. Standard-Tools hingegen können verwendet werden, um beispielsweise Nutzer-Authentifizierung, DoS-Schutz oder die Ausweitung von Berechtigungen auf bereits kompromittierten Systemen zu überprüfen. Es entsteht ein heterogener (IT und OT-Bezug) Testplan, der vor dem Testbeginn mit den relevanten Stakeholdern abgestimmt werden sollte, um eine zielgerichtete Testdurchführung sicherzustellen.
6. Testdurchführung: Die Testanlage muss der Produktivanlage physisch und logisch entsprechen, um valide Ergebnisse zu erzielen. Die Projektierung sollte ebenfalls übereinstimmen.
7. Aufarbeitung und Bewertung: Nach Abschluss der Tests werden die Ergebnisse ausgewertet und Schwachstellen dokumentiert. Die Bewertung erfolgt nach definierten Kriterien wie Common Vulnerability Scoring System (CVSS) und der Risikoanalyse. Der Bericht fasst die Tests, identifizierten Schwachstellen und die empfohlenen Maßnahmen zusammen. Er dient als Grundlage für die weitere Planung und Umsetzung von Sicherheitsmaßnahmen und enthält klare Priorisierungen zur Risikominimierung.

Tab. 2 zeigt abschließend etwaige Gemeinsamkeiten und Unterschiede von IT und OT-Pentests auf.

5 Fazit

Pentests und funktionale Tests sind unerlässlich für die Sicherheit und Zuverlässigkeit von OT-Systemen in der Eisenbahnindustrie. Funktionale Tests gewährleisten die korrekte Funktionsweise und Kompatibilität der Systeme, während Red Teaming Pentests potenzielle Sicherheitslücken aufdecken und die Resilienz gegenüber Cyberangriffen durch reale Angriffssimulationen erhöhen. Proprietäre Lösungen sind keine Sicherheitsmaßnahme, wie sich oft gezeigt hat. Das übergreifende Mantra, das wir anwenden sollten lautet daher: „Hinterfrage deine Annahmen“. Die Automatisierung von Tests ist dabei entscheidend, um Effizienz und Genauigkeit zu gewährleisten. Expertenteams lösen aufkommende Herausforderungen bei der Implementierung sowie Durchführung dieser Tests durch erprobte Maßnahmen und bieten einen erheblichen Mehrwert für die Sicherheit und Qualität der Bahninfrastruktur. ■

Similarities	Differences
<ul style="list-style-type: none"> • Follow the generally recognised workflow phases • Standard tools are used • The overriding objective is to identify any weak points • Similar skills and mind sets are required of the testers 	<ul style="list-style-type: none"> • The workflow phases are extended over a longer period of time in OT pentests • OT pentesting has an increased proportion of reverse engineering and is increasingly based on the in-house development of scripts/tools for test case execution • OT pentesting is more closely related to risk scenarios • OT → Linux centred, IT → Windows centred • IT pentesting is clearly defined in the literature and practice, while OT pentesting is still under development

Tab. 2: IT vs OT pentesting

Quelle/Source: INCYDE

6. Test execution: The test system must correspond physically and logically to the production system in order to achieve valid results. The project planning should also match.
7. Processing and evaluation: Once the tests have been completed, the results are analysed and the weak points are documented. The evaluation is carried out according to defined criteria such as Common Vulnerability Scoring System (CVSS) and the risk analysis. The report summarises the tests, identified vulnerabilities and recommended measures. It serves as the basis for the further planning and implementation of security measures and contains clear prioritisations for risk minimisation.

Finally, tab. 2 shows any similarities and differences between IT and OT pentests.

5 Conclusion

Pentests and functional tests are essential for the safety and reliability of OT systems in the railway industry. Functional tests ensure the correct functioning and compatibility of the systems, while red teaming pentests uncover any potential security vulnerabilities and increase the resilience to cyber-attacks by real attack simulation. Proprietary solutions are no security measure, as often proven. So, “Question your assumption” is the overarching mantra we should apply. The automation of tests is crucial to ensure efficiency and accuracy. Expert teams solve emerging challenges in the implementation and execution of these tests using proven measures and offer significant added value to the safety and quality of the railway infrastructure. ■

AUTOREN | AUTHORS

Dr.-Ing. Martin Koop
Principal IT / OT Security Expert
INCYDE GmbH
Anschrift / Address: Rheinstraße 16a, D-64283 Darmstadt
E-Mail: martin.koop@incyde.com

Leon Hagemann
IT / OT Security Expert
INCYDE GmbH
Anschrift / Address: Rheinstraße 16a, D-64283 Darmstadt
E-Mail: leon.hagemann@incyde.com

Alain Kaffo
Testmanager Übertragungssystem DKS / Test Manager Transmission System DKS
DB InfraGO AG
Anschrift / Address: Adam-Riese-Straße 11-13, D-60327 Frankfurt am Main
E-Mail: alain.kaffo@deutschenbahn.com

Deep Reinforcement Learning für Optimierung des Zugbetriebs

Deep Reinforcement Learning for optimisation of train operation

Joel Mwaka | Reza Sharavi

Dieses Projekt befasst sich mit der Optimierung des Zugbetriebs mithilfe von Deep Reinforcement Learning (DRL). Ziel ist es, ein intelligentes Zugsteuerungssystem zu schaffen, das die Sicherheit durch die Einhaltung von Geschwindigkeitsbegrenzungen gewährleistet, den Fahrgastkomfort erhöht, die Pünktlichkeit aufrechterhält, ein präzises Halten ermöglicht und die Energieeffizienz verbessert. Zwei DRL-Algorithmen, Double Deep Q-Network (DDQN) und Proximal Policy Optimization (PPO), werden untersucht. PPO übertrifft DDQN und schafft eine effektive Balance zwischen den definierten Zielen Sicherheit, Komfort, Pünktlichkeit, Haltegenauigkeit und Energieeffizienz. Diese Studie stellt einen bedeutenden Fortschritt in der Optimierung des Zugbetriebs dar und bietet wertvolle Erkenntnisse für die zukünftige Forschung.

1 Einleitung

Die Bahnindustrie steht vor den Herausforderungen der Urbanisierung und des Klimawandels, die den Druck auf die öffentlichen Verkehrssysteme erhöhen. Innovative Lösungen wie die Automatisierung des Zugbetriebs können diese Probleme angehen, indem sie die Ineffizienzen des manuellen Fahrens, wie menschliches Versagen und unterschiedliche Fahrstile, beseitigen. Die Automatisierung verbessert die Effizienz, Genauigkeit und Zuverlässigkeit, was besonders wichtig ist, wenn es an Zugpersonal mangelt. Ziel dieses Projekts ist die Entwicklung intelligenter Agenten zur autonomen Optimierung der Geschwindigkeitsprofile von Zügen im Rahmen des automatischen Zugbetriebs (Automatic Train Operation (ATO)), um die Effizienz und Sicherheit zu erhöhen. Die Studie entwickelt Techniken zur Optimierung des Zugbetriebs weiter und untersucht das Potenzial und die Grenzen von DRL, wobei die Ziele Pünktlichkeit, Energieeffizienz, Sicherheit, Fahrgastkomfort und Haltegenauigkeit gegeneinander abgewogen werden. Die betreffende Forschung umfasst das Verständnis der Zugsbewegungsdynamik einschließlich der Auswirkungen von Zug- und Gleiseigenschaften auf die Zugsbewegung. Dazu wird eine Simulationsumgebung entwickelt, die das reale Zugverhalten widerspiegelt und die Anpassungsfähigkeit an Änderungen der Zug- und Gleisparameter gewährleistet.

2 Grundlegende Prinzipien

In diesem Abschnitt werden einige Grundlagen erläutert, die ein tieferes Verständnis der bisher im Projekt verwendeten Methodik ermöglichen. Dazu gehören das ATO, Künstliche Neuronale Netze (ANN) und DRL.

This project focuses on optimising train operations using Deep Reinforcement Learning (DRL). The goal is to create an intelligent train control system that ensures safety by adhering to speed limits, enhances passenger comfort, maintains punctuality, achieves precise parking and improves energy efficiency. Two DRL algorithms, Double Deep Q-Network (DDQN) and Proximal Policy Optimisation (PPO), have been examined. PPO has outperformed DDQN, effectively balancing the objectives of safety, comfort, punctuality, parking precision and energy efficiency. This study represents a significant advancement in train operation optimisation and offers valuable insights for future research.

1 Introduction

The rail industry is facing challenges from urbanisation and climate change that are increasing pressure on public transport systems. Innovative solutions such as automating train operations can address these issues by eliminating inefficiencies in manual driving, such as human error and varying driving styles. Automation improves efficiency, accuracy and reliability, all especially important during rail personnel shortages. This project aims to develop intelligent agents to autonomously optimise train speed profiles within the Automatic Train Operation (ATO) system, thereby enhancing efficiency and safety. The study advances techniques for optimising train operations and explores DRL's potential and limitations, balancing the objectives of punctuality, energy efficiency, safety, passenger comfort and parking accuracy. Our research encompasses an understanding of train motion dynamics, including the effects of train and track characteristics on train movement. We have developed a simulation environment that reflects real-world train behaviour, thereby ensuring adaptability to any changes in the train and track parameters.

2 The fundamental principles

This section provides a few fundamentals that aid a deeper understanding of the methodology used in our project to date. These include ATO, Artificial Neural Networks (ANNs) and DRL.

2.1 Automatic Train Operation

Since the beginning of railway transportation, the most common method of securing train movements has involved manual labour with the aid of wayside visual signals, such as on-track

2.1 Automatic Train Operation

Seit den Anfängen des Eisenbahnverkehrs ist die gängigste Methode zur Sicherung des Zugverkehrs die manuelle Sicherung durch die Nutzung von Signalen auf der Strecke, wie z. B. Balisen, Streckendaten, Lichtsignale und Geschwindigkeitsbegrenzungssignale. [5]. Der Zugführer führt kontinuierlich Fahrbefehle aus, die er als Signalaspekte oder Informationen von der Strecke erhält. Unterstützt durch die Entwicklung in verschiedenen technischen Bereichen wie Kommunikation, Steuerungstheorie und Computertechnologien gilt ATO als eine aufstrebende Technologie, die darauf abzielt, vom manuell gesteuerten Zug zum automatischen/ autonomen Zugbetrieb überzugehen [9, 10]. Der Internationale Verband für öffentliches Verkehrswesen und die internationale Norm IEC 62290-1 definieren fünf Automatisierungsgrade (Grades of Automation (GoA)) des Zugbetriebs, die in Tab. 1 beschrieben sind.

ATO-Systeme sollen die Effizienz des Eisenbahnbetriebs verbessern, indem sie in Echtzeit Befehle für optimales Beschleunigen, Fahren, Ausrollen und Bremsen erteilen.

Die Entwicklung von Zugsicherungssystemen zeigt sich in der Entwicklung der automatischen Zugsicherung (ATC), die ursprünglich von der Great Western Railway (GWR) in erster Linie als Warnsystem für Zugbetreiber eingeführt worden war. Moderne ATC-Systeme umfassen integrierte Signalisierungsfunktionen und übernehmen Aufgaben der Zugsteuerung, der Überwachung und des Managements. In städtischen U-Bahn-Systemen, die mit fortschrittlichen ATC-Systemen ausgestattet sind, arbeiten drei Teilsysteme zusammen, um einen sicheren und effizienten Zugbetrieb zu gewährleisten:

- Die automatische Zugüberwachung (Automatic Train Supervision, ATS) überwacht die Zugbewegungen zur Einhaltung der vorgegebenen Fahrpläne und Verkehrsmuster.
- Die automatische Zugsicherung (ATP) sorgt für die Einhaltung von Geschwindigkeitsbegrenzungen, um einen sicheren Zugbetrieb zu gewährleisten.
- Die automatische Zugsteuerung (ATO) übernimmt fahrzeugseitige Funktionen, die traditionell von Triebfahrzeugführern (Tf) ausgeführt werden, wie z. B. das Führen des Zuges und die Bedienung der Türen.

Der umfassende Rahmen verdeutlicht die konzertierten Anstrengungen zur Verbesserung der Sicherheit und Effizienz des Eisenbahnverkehrs durch Automatisierung. Anfang der 1990er Jahre führte Europa das Europäische Zugsicherungssystem ETCS [8] ein, das als Signalisierungs- und Steuerungskomponente des Europäischen Eisenbahnverkehrsmanagementsystems (ERTMS) [13, 14]

GoA	Betrieb	Beschreibung	SAE-Stufe
GoA 0	Vor-Ort	Grundlegender Vor-Ort-Betrieb, wie ein Zugführer, der eine Straßenbahn manuell auf der Straße fährt.	0
GoA 1	Manuell	Der Zugführer steuert das Starten und Stoppen sowie die Türen und reagiert auf Notfälle oder plötzliche Veränderungen.	1
GoA 2	Halb-Automatisch	Starten und Stoppen sind automatisiert, aber der Fahrer bedient weiterhin die Türen, steuert den Zug nach Bedarf und kümmert sich um Notfälle.	2
GoA 3	Fahrerlos	Starten und Stoppen sind automatisiert, und ein Zugbegleiter bedient die Türen und fährt den Zug im Fall von Notfällen. Statt sich auf das Fahren zu konzentrieren, überwachen die Zugbegleiter die vollständige Gesundheit und Leistung des Zuges.	3/4
GoA 4	Unbeaufsichtigt	Starten und Stoppen, Türbedienung und Handhabung von Notfällen sind vollständig automatisiert, ohne dass Zugpersonal an Bord ist. Die Gesundheit des Zuges wird aus der Ferne genau überwacht.	5

Tab. 1: Die verschiedenen Stufen der Zugautomatisierung Quelle: [1]

balises, track data, light signals, speed restriction signs, etc. [5]. The train driver continuously implements driving commands according to the train dispatching orders received from the railway traffic control centre. Aided by sporadic development in various technical fields such as communication, control theory and computer technologies, ATO is considered an emerging technology aimed at slowly shifting from manually driven trains to automatic/autonomous train operations [9, 10]. The International Association of Public Transport and the international IEC 62290-1 standard have defined five Grades of Automation (GoAs) for train operation that have been briefly described in tab. 1.

ATO systems are designed to enhance railway operating efficiency by issuing real-time commands for acceleration, cruising, coasting and optimal braking.

The evolution of train control systems is evident in the development of Automatic Train Control (ATC), which was initially introduced by the Great Western Railway (GWR) primarily as a warning system for train operators. Modern ATC systems encompass integrated signalling functionalities that have assumed roles in train control, supervision and management. In urban metro systems equipped with advanced ATC, three subsystems collaborate synergistically to ensure safe and efficient train operations:

- Automatic Train Supervision (ATS) monitors the train movement in order to uphold the predetermined schedules and traffic patterns.
- Automatic Train Protection (ATP) enforces the speed limits in order to guarantee safe train operations, thereby preventing any violations of track restrictions or unsafe proximity to other trains.
- Automatic Train Operation (ATO) assumes onboard functions traditionally performed by train drivers, such as driving and door operation.

This comprehensive framework underscores the concerted efforts toward enhancing railway safety and efficiency through automation. In the early 1990s, Europe introduced the European Train Control System (ETCS) [8], which serves as a signalling and control component for the European Rail Traffic Management System (ERTMS) [13, 14]. Its primary purpose is to standardise the functions of Automatic Train Protection (ATP) across European railway networks. Shift2Rail initially developed the specifications for ATO systems, aiming to progressive-

GoA	Operation	Description	SAE level
GoA 0	On-site	Basic, on-sight operation, like a train driver manually operating a tram on a street	0
GoA 1	Manual	Train driver controls starting and stopping as well as the doors, while also responding to any emergencies or sudden changes.	1
GoA 2	Semi-automatic	Starting and stopping is automated, but the driver still operates the doors, controls the train as needed and handles emergencies. This is one of the most common levels of automation today.	2
GoA 3	Driverless	Starting and stopping are automated, and a train attendant operates the doors and drives the train in the case of any emergencies. Instead of focusing on driving, the train operators monitor the complete health and performance of the train.	3/4
GoA 4	Unattended	Starting and stopping, door operation and handling of emergencies are fully automated without any on-train staff. The train's health will be closely monitored from afar.	5

Tab. 1: The different grades of train automation Source: [1]

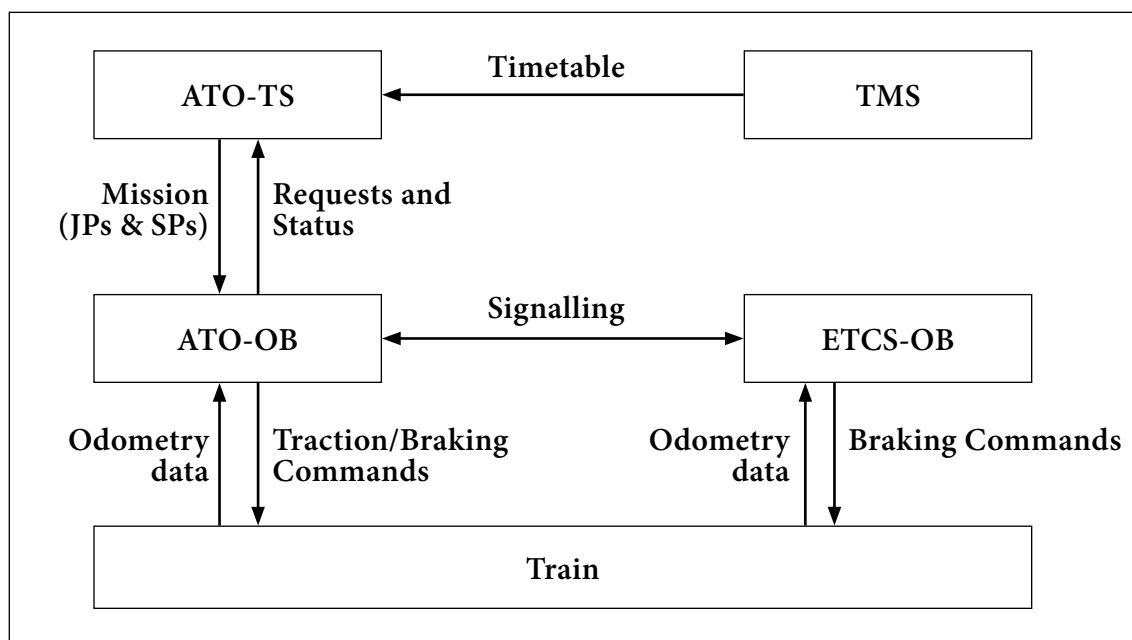


Bild 1: Architektur von ATO über ETCS nach [7]

Fig. 1: Architecture of ATO over ETCS adapted from [7]

dient. Sein Hauptzweck ist die Standardisierung der Funktionen der automatischen Zugsicherung (ATP) in den europäischen Eisenbahnnetzen. Shift2Rail entwickelte zunächst die Spezifikationen für ATO-Systeme mit dem Ziel, ATO schrittweise von GoA 2 auf GoA 4 zu verbessern [1].

Die ATO besteht aus einer streckenseitigen Einheit (ATO-TS) und einer fahrzeugseitigen Einheit (ATO-OB). Die ATO-TS sammelt wichtige Daten wie Fahrpläne und Streckeninformationen und verteilt sie in Form von Fahr- und Streckenprofilen an die Züge. In der Zwischenzeit kann der ATO-OB den Zug fahren und Aufgaben wie Türsteuerung auf der Grundlage der empfangenen Daten durchführen. Eine zusammenfassende Darstellung der Architektur des ATO-Systems unter ETCS-Überwachung ist in Bild 1 [7] zu sehen.

Die ATO-OB erhält Strecken- und Fahrtenbeschreibungen von der ATO-TS sowie Zugattribute und Einschränkungen wie Geschwindigkeitsbegrenzungen vom ETCS und aktuelle Odometrie-Daten vom Train Control Management System (TCMS). Anhand dieser Daten berechnet die ATO-OB ein optimales Geschwindigkeitsprofil für die Fahrt des Zuges. Anschließend werden die zur Einhaltung dieses Profils erforderlichen Traktions- und Bremsmanöver bestimmt. In der Regel werden die Traktions- und Bremsbefehle von einem Echtzeitregler bestimmt, der darauf abzielt, der optimalen Geschwindigkeitskurve zu folgen [4].

Die Beurteilung der Leistung des ATO-Systems umfasst verschiedene Indikatoren:

- **Sicherheit:** Die Einhaltung von Geschwindigkeitsbeschränkungen entlang der Strecke ist entscheidend, um Notfälle zu vermeiden. Der Fahrer oder das Fahrsystem darf diese Grenzen nicht überschreiten, was potenzielle Notbremsen von Überwachungssystemen wie der ATC erforderlich macht.
- **Fahrgastkomfort:** Eisenbahnnormen wie die BSI EN 12299 definieren den Fahrgastkomfort, der direkt durch Zugschwingungen und Bewegungsverhalten beeinflusst werden kann. Zur Bewertung dieses Indikators wird die durchschnittliche Änderung der Beschleunigung (Ruck) untersucht.
- **Pünktlichkeit:** Die Einhaltung der vorgegebenen Fahrpläne ist unerlässlich. Das ATO-System sollte den Zug effizient so steuern, dass er pünktlich an jedem Bahnhof ankommt [6].

ly advance ATO from GoA 2 to GoA 4 [1]. ATO comprises a trackside unit (ATO-TS) and an onboard unit (ATO-OB). The ATO-TS gathers essential data, such as timetables and track information, distributing them to trains in the form of journey profiles and segment profiles. Meanwhile, the ATO-OB can drive the train and perform tasks such as door manipulation based on the received details. A summarised architecture of the ATO system under ETCS supervision is depicted in fig. 1 [7].

The ATO-OB receives track and journey descriptions from the ATO-TS along with train attributes and restrictions such as speed limits from the ETCS and current odometry data from the Train Control Management System (TCMS). The ATO-OB then computes an optimal speed profile for the train's journey using this data. It subsequently determines the traction and braking manoeuvres necessary to adhere to this profile. Typically, traction and braking commands are determined by a real-time controller aiming to follow the optimal speed curve [4].

The performance assessment of the ATO system encompasses various indicators, including:

- **Safety:** ensuring compliance with the speed restrictions along the track is crucial to prevent emergencies. The driver or driving system must not exceed these limits, which would otherwise necessitate potential emergency braking intervention from supervisory systems such as the ATC.
- **Passenger comfort:** railway standards such as BSI EN 12299 define passenger comfort, which can be directly influenced by train vibrations and movement behaviour. Evaluating this indicator involves examining the average change in acceleration (jerk).
- **Punctuality:** adherence to the predetermined timetables set by the rail traffic control centre is essential. The ATO system should drive the train efficiently so as to arrive at each station punctually [6].
- **Parking accuracy:** assessing the ATO system's ability to halt the train at a station within specific tolerances is crucial for parking accuracy.
- **Energy efficiency:** given the escalating energy prices and environmental concerns, optimising energy-efficient train operation is paramount. Studies [8, 15] have shown that opti-

- Genauigkeit beim Halten: Die Bewertung der Fähigkeit des ATO-Systems, den Zug innerhalb bestimmter Toleranzen an einem Bahnhof anzuhalten, ist für die Haltegenauigkeit entscheidend.
- Energieeffizienz: In Anbetracht der steigenden Energiepreise und des Umweltbewusstseins ist die Optimierung des energieeffizienten Zugbetriebs von größter Bedeutung. Studien [8,15] haben gezeigt, dass die Optimierung der Zugfahrstrategien den Energieverbrauch um bis zu 20 % senken kann.

2.2 Künstliche Neuronale Netze und DRL

Künstliche Neuronale Netze (Artificial Neuronal Networks (ANN)) stellen eine Art von Maschinellern dar, das von der Struktur und Funktion des menschlichen Gehirns inspiriert ist [9]. ANN bestehen aus miteinander verbundenen Knoten oder Neuronen, die in Schichten organisiert sind. Diese Netzwerke können aus Daten lernen und werden verwendet, um Muster zu erkennen und Vorhersagen zu treffen. Das Netzwerk passt die Verbindungen zwischen den Neuronen während des Trainings an, um seine Vorhersagen zu verbessern. ANN werden in verschiedenen Anwendungen eingesetzt, u.a. in der Bild- und Spracherkennung. Wenn ein ANN mit Daten aus dem Zugbetrieb trainiert wird, kann es lernen, das optimale Fahrverhalten vorherzusagen.

DRL kombiniert die Grundsätze des Reinforcement Learning (RL) mit der leistungsstarken Mustererkennung von ANN [2]. Bei DRL lernt ein Agent, Entscheidungen zu treffen, indem er mit seiner Umgebung interagiert, Rückmeldungen in Form von Belohnungen oder Bestrafungen erhält und diese Rückmeldungen nutzt, um seine Handlungen zu verfeinern. Im Rahmen dieses Projekts wird DRL verwendet, um intelligente Agenten zu entwickeln, die Geschwindigkeitsprofile optimieren. Dabei lernt der Agent die besten Strategien für das Führen des Zuges unter Berücksichtigung verschiedener Ziele wie Pünktlichkeit, Energieeffizienz, Sicherheit, Fahrgastkomfort und Haltegenauigkeit. DRL ermöglicht es dem System, aus Echtzeitdaten zu lernen und sich an veränderte Bedingungen anzupassen, z. B. an unterschiedliche Streckenbedingungen, Fahrgastaufkommen und Fahrplanänderungen. Durch kontinuierliches Lernen und Verbessern kann ein DRL-basiertes System im Vergleich zu herkömmlichen regelbasierten oder manuell betriebenen Systemen eine bessere Leistung erzielen. Die Integration von ATO mit DRL zur Geschwindigkeitsoptimierung stellt einen bedeutenden Fortschritt in der Eisenbahntechnologie dar. Während ATO den Automatisierungsrahmen bildet, erweitert DRL diesen, indem es dem System ermöglicht, durch kontinuierliche Interaktion mit der Umgebung optimale Fahrstrategien zu erlernen.

3 Dynamisches Zug-Modell

Die Entwicklung des Dynamischen Zug-Modells war ein umfassender Prozess, bei dem die reale Dynamik eines Zuges simuliert wurde, um sein Verhalten unter verschiedenen Bedingungen genau darzustellen. Dieses Modell sollte die wesentlichen Aspekte der Zugbewegung erfassen, einschließlich der auf den Zug wirkenden Kräfte und der Wechselwirkungen zwischen dem Zug und dem Gleis. Das Hauptziel bestand darin, eine realistische Umgebung zu schaffen, in der der DRL-Agent trainiert werden konnte, um das Geschwindigkeitsprofil des Zuges zu optimieren.

Um dies zu erreichen, wurden die wichtigsten physikalischen Kräfte berücksichtigt, die die Zugbewegung beeinflussen, z. B. Reibungswiderstand und Luftwiderstand [10, 11]. Sowohl der Reibungswiderstand, der durch den Kontakt des Zuges mit der Schiene entsteht, als auch der Luftwiderstand, der auf die Oberfläche des Fahrzeugs zurückzuführen ist, wurden modelliert, um ihre Auswirkungen auf

misising train driving strategies can reduce energy consumption by up to 20 %.

2.2 Artificial Neural Networks and DRL

Artificial Neural Networks (ANNs) are a type of machine learning model inspired by the human brain's structure and function [9]. ANNs consist of interconnected nodes, or neurons, organised into layers. These networks can learn from data and are used to recognise patterns and make predictions. The network adjusts the connections between the neurons during training in order to improve its predictions. ANNs are used in various applications, including image and speech recognition, amongst others. Training an ANN with data from train operations can enable it to learn how to predict optimal driving behaviours.

DRL combines the principles of Reinforcement Learning (RL) with the powerful pattern-recognition capabilities of ANNs [2]. In DRL, an agent learns to make decisions by interacting with its environment, receiving feedback in the form of rewards or penalties and using this feedback to refine its actions. Within the context of this project, DRL has been used to develop intelligent agents that optimise speed profiles. This involves the agent learning the best strategies for driving the train, while considering various objectives such as punctuality, energy efficiency, safety, passenger comfort and parking accuracy.

DRL allows the system to learn from real-time data and adapt to changing conditions, such as variations in track conditions, passenger load, and schedule changes. By continuously learning and improving, a DRL-based system can achieve superior performance compared to traditional rule-based or manually operated systems. Integrating ATO with DRL for speed optimisation represents a significant advancement in railway technology. While ATO provides the automation framework, DRL enhances it by enabling the system to learn optimal driving strategies through continuous interaction with the environment.

3 The train motion environment model

The development of the train motion environment model has been a comprehensive process involving the simulation of a train's real-world dynamics in order to accurately reflect its behaviour under various conditions. This model has been designed to capture the essential aspects of train motion, including the forces acting on the train and the interactions between the train and the track. The primary goal was to create a realistic environment in which the DRL agent could be trained to optimise the train's speed profile.

In order to achieve this, we began by incorporating the key physical forces that influence the train's movement, such as frictional and aerodynamic drag [10, 11]. Frictional drag, which arises from the contact between the train and the track, and aerodynamic drag, which is due to air resistance, were both modelled to reflect their impact on the train's speed and energy efficiency. Additionally, extra motion resistances like rolling resistance, bearing resistance and shock resistance were included to provide a more comprehensive representation of the forces at play. The model also accounted for track-related forces, including gravitational forces that affect the train when travelling on inclines or declines and curve resistance that arises when the train navigates curved tracks. These factors are crucial as

die Geschwindigkeit und die Energieeffizienz des Zuges zu berücksichtigen. Darüber hinaus wurden zusätzliche Bewegungswiderstände wie Rollwiderstand, Lagerwiderstand und Stoßwiderstand einbezogen, um eine umfassendere Darstellung der wirkenden Kräfte zu erhalten. Das Modell berücksichtigte auch streckenbezogene Kräfte, einschließlich der Schwerkraft, die auf den Zug einwirkt, wenn er über Steigungen oder Gefälle fährt, sowie den Kurvenwiderstand und Fliehkräfte, die entstehen, wenn der Zug durch Bogen fährt. Diese Faktoren sind von Bedeutung, da sie die Beschleunigung und Verzögerungen des Zuges erheblich beeinflussen und sich somit auf die Gesamteffizienz und Sicherheit des Zugbetriebs auswirken. Die Zug- und Bremskräfte wurden modelliert, um die Steuereingaben des Tf zu simulieren. Die Zugkraft, die von den Motoren des Zuges erzeugt wird, treibt den Zug vorwärts, während die Bremskraft zum Abbremsen oder Anhalten des Zuges eingesetzt wird. Diese Kräfte wurden auf der Grundlage von Eingaben angepasst, die die Steuerung durch den Fahr-Bremshebel des Fahrers nachahmen, sodass die Simulation realistisch wiedergibt, wie sich Änderungen des Fahr-Bremshebels auf die Bewegung des Zuges auswirken.

Durch die Integration dieser verschiedenen Komponenten bietet das Modell eine realistische und dynamische Plattform für den RL-Agenten zum Erlernen und Optimieren von Zugbetriebsstrategien. Dieses umfassende Modell ermöglichte es dem Agenten, verschiedene Szenarien zu erleben und sich an diese anzupassen, wodurch seine Entscheidungsprozesse zur Verbesserung der Zugleistung in Bezug auf Sicherheit, Pünktlichkeit, Energieeffizienz und Fahrgastkomfort verbessert wurden.

4 Methodik

Bild 2 zeigt einen umfassenden Überblick über die drei Komponenten, nämlich den Agenten, die Umgebung und den Lernalgorithmus.

they significantly influence the train’s acceleration and deceleration, thereby affecting the overall efficiency and safety of train operations. The traction and braking forces were modelled to simulate the control inputs from the train driver. The traction force, generated by the train’s motors, propels the train forward, while braking force is applied to slow it down or bring it to a stop. These forces were adjusted based on inputs that mimic the driver’s throttle control, thereby allowing the simulation to realistically reflect how changes in throttle position affect the train’s movement.

By integrating these various components, the train motion environment model provided a realistic and dynamic platform for the RL agent to learn and optimise its train operating strategies. This comprehensive model enabled the agent to experience and adapt to different scenarios, thereby improving its decision-making processes for enhancing train performance in terms of safety, punctuality, energy efficiency and passenger comfort.

4 Methodology

Fig. 2 shows a comprehensive overview of the three components, namely the agent, environment and learning algorithm.

The environment in which we simulated the train’s motion considered three critical data categories. These categories include:

- Track data: track information, including sloped segments, curved segments and speed limits.
- Train data: the train’s parameters including the number of cars, powered cars, pantographs, mass information, dimensions, power specifications and drag coefficients, amongst others.
- Journey data: this contains information about the departure time from the starting station and the arrival time at the destination.

The simulation of the train’s motion uses a dynamic (time-stepped) approach, where the system is modelled as a sequence of

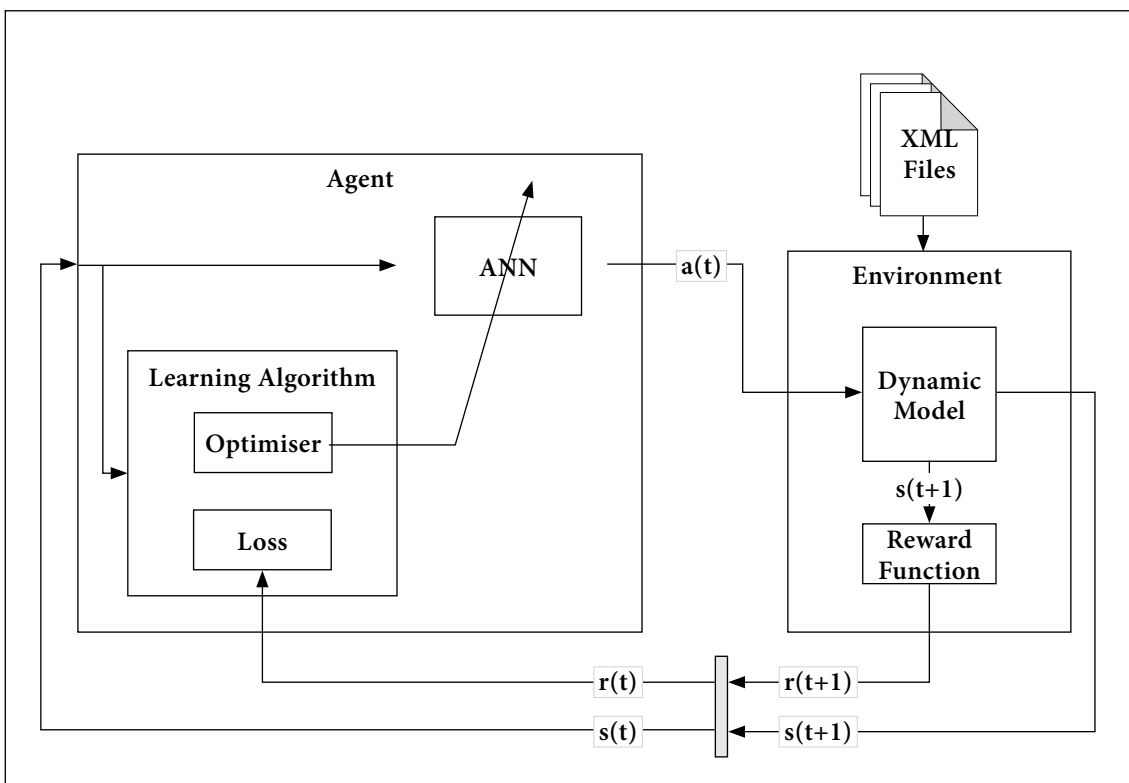


Bild 2: Lern-Architektur mit den Hauptkomponenten, die in der RL-Aufgabe verwendet werden

Fig. 2: Architecture of learning framework showing the main components used in the RL task

Quelle / Source: eigene Darstellung / own illustration

Das Umfeld, in dem die Bewegung des Zuges simuliert wurde, berücksichtigte drei kritische Kategorien von Daten. Zu diesen Kategorien gehören:

- Streckendaten: Gleisinformationen, einschließlich Steigungssegmente, Bogensegmente und Geschwindigkeitsbegrenzungen
- Zugdaten: Parameter des Zuges, einschließlich Anzahl der Wagen, Triebköpfe, Stromabnehmer, Masse, Abmessungen, Leistungsdaten und Luftwiderstandsbeiwerte, um nur einige zu nennen
- Fahrdaten: Diese enthalten Informationen über die Abfahrtszeit vom Startbahnhof und die Ankunftszeit am Zielort.

Für die Simulation des Zuges wird ein dynamischer (zeitlich gestufter) Ansatz verwendet, bei dem das System als eine Folge diskreter Zeitschritte modelliert wird. Bei jedem Zeitschritt wird der Zustand des Systems auf der Grundlage des aktuellen Zustands und externer Eingaben, wie z. B. der Aktionen des Agenten und der drei oben genannten Datenkategorien, aktualisiert. Der Aktionsraum für den DRL-Ansatz zur Optimierung des Zugbetriebs wird in elf Stufen von Traktions- und Bremsanforderungen konkretisiert. Dies vereinfacht die Implementierung und ermöglicht die Verwendung sowohl der DDQN- als auch der PPO-Lernalgorithmen. Der Aktionsraum wird als ganze Zahl von 0 bis 10 dargestellt, die den verschiedenen Traktions- oder Bremsstufen entspricht.

Wie bereits erwähnt, experimentieren wir mit zwei DRL-Algorithmen, nämlich DDQN und PPO. DDQN ist ein weit verbreiteter Algorithmus, der auf dem traditionellen Q-Learning aufbaut, indem er zwei ANN zur Approximation der Q-Funktion einsetzt. Die Q-Funktion schätzt die erwartete kumulative Belohnung für das Ausführen einer Aktion in einem bestimmten Zustand und das Befolgen einer bestimmten Strategie danach. Die Verwendung von zwei neuronalen Netzen durch DDQN ermöglicht ein stabileres Lernen, da die Auswirkungen von Überschätzungen reduziert werden [3]. PPO fällt unter die Kategorie der Actor-Critic (AC) Methoden [3]. Bei PPO stellt ein neuronales Netz die Policy dar, während ein anderes neuronales Netz die Wertfunktion schätzt. Das Policy-Netz wird vom Akteur verwendet, um Aktionen auszuwählen, während der Kritiker das Value-Netz einsetzt, um die erwartete kumulative Belohnung zu schätzen [3].

Der konkret verwendete Agent schließlich ist ein ANN, das eine Eingabeschicht hat, die den aktuellen Zustand der Umgebung aufnimmt. Es hat auch mehrere versteckte Schichten und eine Ausgabeschicht, die eine Aktion ausgibt. Es wurde mit zwei ANN-Architekturen experimentiert, nämlich mit Feed-Forward-Netzen und rekurrenten neuronalen Netzen. Die Belohnungsfunktion ist so konzipiert, dass sie den Lernprozess des Agenten steuert, indem sie auf der Grundlage seiner Aktionen Feedback gibt. Sie umfasst Belohnungen pro Schritt für Sicherheit, Fahrgastkomfort, Energieeffizienz und Pünktlichkeit sowie Terminal-Belohnungen für Pünktlichkeit und Haltegenauigkeit. Diese Belohnungen werden mithilfe eines gewichteten Summenansatzes kombiniert, um die verschiedenen Ziele auszugleichen und den Agenten zu ermutigen, seine Leistung in allen Schlüsselkennzahlen zu optimieren.

5 Schlussfolgerung

In diesem Projekt wurde die Wirksamkeit von DRL bei der Optimierung der Zuggeschwindigkeit unter Berücksichtigung von Performance-Indikatoren wie Sicherheit, Komfort, Pünktlichkeit, Parkgenauigkeit und Energieeffizienz bewertet. Der Agent, ein ANN, verwendete Daten über Zug-Odometrie, Geschwindigkeitsbegrenzungen, Gleisneigungen und Zugparameter als Eingabewerte und generierte Aktionswahrscheinlichkeiten als Ausgaben.

discrete time steps. The state of the system is updated at each time step based on the current state and the external inputs, such as the agent's actions and the three data categories mentioned above. The action space for the DRL approach to optimise train operation has been discretised into eleven levels of traction and braking requests. This simplifies implementation and allows the use of both the DDQN and PPO learning algorithms. The action space is represented as integers from 0 to 10, corresponding to various levels of traction or braking.

As stated earlier, we experimented with two DRL algorithms namely, DDQN, and PPO. DDQN is a widely used algorithm that builds on traditional Q-learning by employing two ANNs to approximate the Q-function. The Q-function estimates the expected cumulative reward for taking an action in a given state and following a specific policy thereafter. DDQN's utilisation of two neural networks allows for more stable learning by reducing the impact of any overestimation [3]. PPO falls under the category of Actor-Critic (AC) methods [3]. In PPO, one neural network represents the policy, while another neural network estimates the value function. The policy network is utilised by the actor to select actions, while the critic employs the value network to estimate the expected cumulative reward [3].

Finally, the used agent is an ANN with one input layer that takes in the current state of the environment. It also has several hidden layers and an output layer that provides an action. We experimented with two ANN architectures, namely feed-forward networks and recurrent neural networks. The reward function is designed to guide the agent's learning process by providing feedback based on its actions. It includes per-step rewards for safety, passenger comfort, energy efficiency and punctuality, as well as terminal rewards for punctuality and parking accuracy. These rewards are combined using a weighted sum approach to balance the various objectives, thus encouraging the agent to optimise its performance across all key metrics.

5 Conclusion

This project has evaluated the effectiveness of DRL in optimising train speeds, while considering performance indicators such as safety, comfort, punctuality, parking accuracy and energy efficiency. The agent, an ANN, has used data on the train odometry, speed limits, track slopes and train parameters as inputs and generated action probabilities as outputs.

The unavailability of any test data from existing ATO solutions or manually driven trains means that the agent's performance was evaluated in a simulation environment using the PPO trained agent on ten unseen journeys. The agent consistently maintained speed limits, prioritised safety and adhered to passenger comfort by keeping the jerk below 4 m/s^3 . It met its punctuality goals in most cases, with minor delays on one journey, and achieved parking accuracy except for one instance. The agent also demonstrated potential energy efficiency by effectively coasting and minimising braking.

The qualitative evaluation noted that the simulation's assumptions, such as the constant train mass and dry track conditions, might not fully reflect real-world complexities. While the agent's energy efficiency strategies were promising, the simplified simulation model indicated the need for further refinement for practical deployment. Despite these limitations, the agent's overall performance shows significant potential for the optimisation of real-world train operations and has contributed valuable insights to other DRL research in this field [12]. ■

Da keine Testdaten von bestehenden ATO-Lösungen oder von manuell gesteuerten Zügen zur Verfügung standen, wurde die Leistung des Agenten in einer Simulationsumgebung unter Verwendung des mit PPO trainierten Agenten auf zehn ungesesehenen Fahrten bewertet. Der Agent hielt sich konsequent an die Geschwindigkeitsbegrenzungen, räumte der Sicherheit Priorität ein und achtete auf den Fahrgastkomfort, indem er den Ruck unter 4 m/s^3 hielt. Er erfüllte die Pünktlichkeitsziele in den meisten Fällen, mit geringfügigen Verspätungen bei einer Fahrt, und erreichte die Haltegenauigkeit bis auf einen Fall. Der Agent bewies auch eine potenzielle Energieeffizienz, indem er effektiv ausrollte und die Bremsvorgänge minimierte.

Bei der qualitativen Bewertung wurde festgestellt, dass die Annahmen der Simulation, wie z. B. konstante Zug-Masse und trockene Gleisbedingungen, die Komplexität der realen Welt möglicherweise nicht vollständig widerspiegeln. Die Energieeffizienzstrategien des Agenten waren zwar vielversprechend, aber das vereinfachte Simulationsmodell zeigte, dass für den praktischen Einsatz weitere Verfeinerungen erforderlich sind. Trotz dieser Einschränkungen zeigt die Gesamtleistung des Agenten ein erhebliches Potenzial für die Optimierung des realen Zugbetriebs und liefert wertvolle Erkenntnisse für andere DRL-Forschungen in diesem Bereich [12]. ■

AUTOREN | AUTHORS

Joel Mwaka, M.Sc.

Software Engineer

E-Mail: joel.mwaka@urbanandmainlines.com

Dipl.-Ing. Reza Sharavi

Head of Innovation Business Line

E-Mail: wolfgang-reza.sharavi@urbanandmainlines.com

Beide Autoren / both authors:

Hitachi Rail GTS Deutschland GmbH

Anschrift / Address: Thalesplatz 1, D-71254 Ditzingen

LITERATUR | LITERATURE

- [1] Lieskovsky, A.; Myslivec, I.; Zemlicka, M.: "Automatic train operation: History and open questions," in Proceedings of the 6th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems - VEHITS, pp. 260–267, INSTICC, SciTePress, 2020
- [2] Mnih, V.; Kavukcuoglu, K.; Silver, D.; Graves, A.; Antonoglou, I.; Wierstra, D.; Riedmiller, M.: "Human-level control through deep reinforcement learning," Nature, vol. 518, no. 7540, pp. 529–533, 2015
- [3] Sutton, R. S.; Barto, A. G.: Reinforcement Learning: An Introduction. MIT press, 2018
- [4] Feng, W.; Dong, W.; Zhai, S.; Zhang, G.; Sun, X.; Ji, Y.: "A deep reinforcement learning method for freight train driving based on domain knowledge and mass estimation network," in 2021 6th International Conference on Machine Learning Technologies, ICMLT 2021 (New York, NY, USA), p. 41–46, Association for Computing Machinery, 2021
- [5] Albrecht, A.; Howlett, P.; Pudney, P.; Vu, X.; Zhou, P.: "The key principles of optimal train control – part 1: Formulation of the model, strategies of optimal type, evolutionary lines, location of optimal switching points," Transportation Research Part B: Methodological, vol. 94, pp. 482–508, 2016
- [6] Yin, J.; Tang, T.; Yang, L.; Xun, J.; Huang, Y.; Gao, Z.: "Research and development of automatic train operation for railway transportation systems: A survey," Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 85, pp. 548–572, 2017
- [7] ERA, UNISIG, EEIG ERTMS USERS GROUP: "ATO over ETCS: System requirements specification," 2020
- [8] Wikipedia contributors, "European train control system – Wikipedia" 2022 [Online; accessed 25 November 2022]
- [9] Goodfellow, I.; Bengio, Y.; Courville, A.: Deep Learning. MIT Press, 2016
- [10] Ihme, J.: Schienenfahrzeugtechnik, Springer Vieweg, 2019
- [11] Janicki, J.; Reinhard, H.: Schienenfahrzeugtechnik, Bahn Fachverlag Heidelberg, 2008
- [12] Cheng, R.; Chen, D.; Cheng, B.; Zheng, S.: "Intelligent driving methods based on expert knowledge and online optimisation for high-speed trains," Expert Systems with Applications, vol. 87, pp. 228–239, 2017



Systemanbieter in der Bahnelektrifizierung

- Consulting und Engineering
- Installation und Wartung
- Produktentwicklung und Vertrieb

WE ARE ELECTRIFYING TRANSITIONS

www.powerlines-group.com

**InnoTrans 2024
Stand 340, Halle 22**



**Hochspannend.
Elektrisierend. Geerdet.**

Antennentechnologie – Lösung für Dual-Mode-Funktionalität GSM-R/FRMCS

Antenna technology – a solution for dual-mode GSM-R/FRMCS functionality

Dirk Schattschneider

In der Welt der mobilen, drahtlosen Telekommunikation spielen Antennen eine entscheidende Rolle. Mit dem Aufkommen moderner Mobilfunksysteme wie 5G sind auch die Anforderungen an die verwendeten Antennensysteme gestiegen. Angefangen mit SISO-Antennen (Single Input Single Output), wie sie heute bei GSM-R verwendet werden, über MIMO (Multiple Input Multiple Output) und Beamforming hin zu Massive MIMO-Systemen für die zuverlässige und gezielte Versorgung mehrerer Endgeräte mit einer hohen Datenrate. Die Einführung von FRMCS (Future Railway Mobile Communication System) stellt diesbezüglich weitere Anforderungen.

1 Antennenkoexistenz

Die zukünftigen Antennensysteme für den bahnbetrieblichen Einsatz auf dem Fahrzeug müssen ein großes Frequenzspektrum abdecken. FRMCS wird Teile des heutigen GSM-R Bands (Band n100) und zusätzlich noch 10 MHz bei 1900 MHz (Band n101) nutzen. Gemäß der FRMCS System-Requirement-Specification (SRS) sollen für FRMCS die folgenden öffentlichen Frequenzbänder zusätzlich verfügbar sein: 700 MHz, 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, 2600 MHz sowie 100 MHz aus dem 3,5 GHz-Band für die sogenannten Campus-Netze. Die große Anzahl an für FRMCS-Endgerät nutzbaren Frequenzbändern stellt zusätzliche Anforderungen an die Koexistenz der Funkssysteme auf dem Fahrzeugdach.

Z. B. ist DECT unterhalb des FRMCS-Bands n101 zu schützen, wohingegen Störungen durch andere Funkdienste oberhalb des Bandes wie beispielsweise durch UAV (Unmanned Aerial Vehicles) nicht auszuschließen sind. Ebenso ist die Situation um das Band n100 herum angespannt, da die Dichte an Funkdiensten in diesem wegen seiner guten Ausbreitungsbedingungen begehrten Spektrum unterhalb von 1GHz immer weiter zunimmt. Diese Situation spiegelt sich ebenfalls in den hohen Koexistenzanforderungen der EU Durchführungsverordnung (EU) 2021/1730 für FRMCS (hier als Railways Mobile Radio (RMR) bezeichnet) wider.

Einen ersten Anlauf, diesen gordischen Knoten für die betrieblichen Kommunikationsdienste der Bahnen aufzulösen, unternimmt die Technische Empfehlung Antennen (TE-ANT), die Isolationswerte zum Schutz der einzelnen Funkssysteme untereinander definiert. Die TE-ANT berechnet hierzu Isolationswerte in Dezibel (dB), trifft aber keine Aussage wie diese Werte zu erreichen sind. Möglichkeiten sind z. B. die räumliche Trennung der Antennen auf dem Fahrzeugdach oder der Einsatz von Filtern. Die TE-ANT umfasst derzeit nur die Betrachtung der Funkssysteme bis GSM-R, das 5G basierte System FRMCS ist hierin noch nicht erfasst.

Hier sind weitere Anstrengungen des gesamten Bahnsektors notwendig, um die Koexistenzanforderungen für FRMCS zu identifizieren.

Antennas play a crucial role in the world of mobile, wireless telecommunications. The demands on the antenna systems currently in use have also increased with the advent of modern mobile communication systems such as 5G. This starts with the SISO (Single Input Single Output) antennas that are presently used in GSM-R and continues through to MIMO (Multiple Input Multiple Output) and beamforming and on to Massive MIMO systems for the reliable and targeted supply of several end devices with a high data rate. The introduction of FRMCS (Future Railway Mobile Communication System) poses further challenges in this respect.

1 Antenna coexistence

The future antenna systems for railway operations on a vehicle must cover a wide frequency spectrum. FRMCS will use parts of the current GSM-R band (band n100) and an additional 10 MHz at 1900 MHz (the n101 band). According to the FRMCS System Requirement Specification (SRS), the following public frequency bands should also be available for FRMCS: 700 MHz, 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, 2600 MHz and 100 MHz from the 3.5 GHz band for so-called campus networks. The large number of suitable frequency bands for FRMCS terminals places additional demands on the coexistence of the radio systems on the vehicle roof.

For example, DECT below the FRMCS n101 band must be protected, while interference from other radio services above the band, such as UAVs (Unmanned Aerial Vehicles), cannot be ruled out. The situation around the n100 band is also tense, as the density of radio services in the spectrum below 1 GHz, which is in demand due to its good propagation conditions, is increasing. This situation is also reflected in the high coexistence requirements of the EU Implementing Regulation (EU) 2021/1730 for FRMCS (referred to here as Railways Mobile Radio (RMR)). The Technical Recommendation on Antennas (TE-ANT) is the first attempt to untie this Gordian knot for operational communication services on the railways. TE-ANT defines the isolation values needed to protect the individual radio systems. TE-ANT calculates the isolation values in decibels (dB), but does not provide any information on how to achieve these values. Possibilities include, for example, the spatial separation of the antennas on the vehicle roof or the use of filters. The TE-ANT currently only covers radio systems up to GSM-R; the 5G-based FRMCS system is not yet included.

Further efforts throughout the entire rail sector are needed to identify the coexistence requirements for FRMCS and thus set

zieren und so die Weichen für einen störungsfreien Betrieb des Kommunikationssystems der Zukunft zu stellen. Seitens der Industrie sind neben der Bereitstellung der reinen Telekommunikationsausrüstung auch intelligente Antennenlösungen für FRMCS gefragt, die den Anforderungen für einen störungsfreien Betrieb der Mobilfunksysteme gerecht werden.

In diesem Zusammenhang ist auch das Thema aktive Fahrzeugantennen oder die Integration der Sendeendstufe in die Antenne zu überlegen, da der limitierende Faktor in einem Mobilfunknetz das Endgerät mit seiner geringen Sendeleistung ist. Bei FRMCS steht maximal 1 Watt Sendeleistung zur Verfügung, im Vergleich zu 8 Watt bei GSM-R. Gerade bei der durch viele Bahnen angestrebten Migration im FRMCS-Band n101 (1900 – 1910 MHz) mit seinen schlechteren Ausbreitungsbedingungen aufgrund der höheren Frequenz ist die maximale Sendeleistung an der Antenne ein entscheidender Faktor bei der Funknetzplanung. Ebenso ist der Einfluss auf die Kosten des Netzrollouts von FRMCS zu betrachten.

Es ist also wichtig, die maximale Sendeleistung an der Antenne zur Verfügung zu haben und den Verlust auf den Antennenzuleitungen so gering wie möglich zu halten. Allerdings gilt es hierbei zu bedenken, dass aktive Antennensysteme (AAS) in der aktuell vorliegenden Frequenzregulierung für RMR nicht abgedeckt sind.

2 Betrieblich genutzter Mobilfunk

Im Gegensatz zu den Downlink-orientierten öffentlichen Mobilfunksystemen wie wir sie im Alltag nutzen, wird die wesentliche Kommunikationsrichtung in FRMCS der sogenannte Uplink, also vom Endgerät in Richtung Mobilfunknetz sein. Um den betrieblichen Anforderungen gerecht zu werden, wurde durch die EU-Kommission ein entsprechendes Spektrum exklusiv zur Verfügung gestellt. Neben dem exklusiven Spektrum ist in FRMCS die Nutzung öffentlicher Mobilfunkbänder vorgesehen, auch die Verwendung anderer Kommunikationstechnologien wie WIFI, mm-Wave oder Satelliten-Kommunikation wird konzeptionell nicht ausgeschlossen. Die aktuelle Standardisierung betrachtet allerdings ausschließlich die 3GPP (3rd Generation Partnership Project)-basierte Mobilfunktechnologie der 5. Generation.

5G-Endgeräte benötigen mindestens einen Sendepfad und zwei Empfangspfade, in einigen Frequenzbändern sind sogar vier Empfangspfade gemäß 3GPP vorgegeben. Mit Einführung von FRMCS sind daher andere Antennen notwendig, als es für GSM-R der Fall war. Zudem müssen die Antennen für FRMCS neben den bereits geltenden Anforderungen, wie z. B. Hochspannungs- und Hochstromfestigkeit, für die Zukunft gerüstet sein, da sich FRMCS in der Standardisierung über die 3GPP Releases 17 bis 19 streckt.

3 Koexistenzanforderungen der Funkssysteme

Wie in [1] dargestellt, sind auf dem Weg zu einem neuen Mobilfunksystem zahlreiche Herausforderungen zu meistern. Gerade das Thema Antennen, welches bereits heute schon große und zahlreiche Stolpersteine für die Fahrzeughersteller und -halter bereithält, wird mit FRMCS auf eine neue Dimension angehoben. Während bei GSM-R im einfachsten Fall drei Antennen (2xETCS und 1xSprachfunk) notwendig sind, kann die Anzahl der notwendigen Antennen bei einem FRMCS-Vollausbau auf bis zu zehn Stück steigen [2]. Bereits heute sind neue bzw. zusätzliche Antennenstandorte auf einem Fahrzeugdach Mangelware.

Für die Montage einer Antenne auf dem Fahrzeugdach sind drei wesentliche Aspekte zu beleuchten, zum einen der rein mecha-

the course for the smooth operation of the communication system of the future. In addition to providing the telecommunications equipment itself, the industry is also called upon to develop intelligent antenna solutions for FRMCS that meet the requirements for the smooth operation of mobile communication systems.

The issue of active vehicle antennas or the integration of the transmit power stage into the antenna should also be considered within this context, since the limiting factor in a mobile radio network is the terminal with its low transmission power. In the case of FRMCS, a maximum of 1 watt of transmission power is available, compared to 8 watts for GSM-R. The maximum transmission power at the antenna is a decisive factor in the radio network planning, especially for the migration to the FRMCS n101 band (1900 – 1910 MHz) that many railways are aiming for, despite its poorer propagation conditions due to the higher frequency. The influence on the cost of the FRMCS network rollout should also be considered.

It is therefore important to have the maximum transmission power available at the antenna and to keep the loss on the antenna feed lines as low as possible. However, it should also be noted that active antenna systems (AAS) are not covered by the current frequency regulation for RMR.

2 Mobile radio communications used for operational purposes

In contrast to the downlink-oriented public mobile radio systems that we use in everyday life, the main direction of communication in FRMCS will be the so-called uplink, i.e. from the terminal device to the mobile network. In order to meet the requirements for railway operations, the EU Commission has made a corresponding spectrum exclusively available. In addition to this exclusive spectrum, the use of public mobile radio bands is also planned in FRMCS and the use of other communication technologies such as WI-FI, mmWave or satellite communication has not been conceptually excluded. However, the current standardisation only considers 3GPP (3rd Generation Partnership Project)-based 5th generation mobile radio technology.

5G devices require at least one transmission path and two reception paths; in some frequency bands, four reception paths are even specified in accordance with 3GPP. Therefore, the introduction of FRMCS means that additional antennas to the ones used for GSM-R are now required. Moreover, the antennas for FRMCS must also be equipped for the future, in addition to the already existing requirements such as high-voltage and high-current resistance, since FRMCS is being standardised in 3GPP Releases 17 to 19.

3 Radio system coexistence requirements

As shown in [1], there are numerous challenges to be overcome on the way to a new mobile communications system. The issue of antennas, which already poses major and numerous stumbling blocks for vehicle manufacturers and owners, enters a new dimension with FRMCS. While three antennas (2xETCS and 1xvoice radio) are required for GSM-R in the simplest case, the number of antennas required for a fully equipped FRMCS system can increase to up to ten [2]. Even today, new or additional antenna locations on a vehicle roof are in short supply.

Three key aspects need to be considered when installing an antenna on the roof of a vehicle: the available space, including the

nisch verfügbare Bauraum, inklusive der statischen Eigenschaften des Fahrzeugdachs, die hochfrequenten Eigenschaften eines Mobilfunkkanals und schlussendlich die Koexistenzanforderungen gegenüber anderen Funksystemen.

Ein geeigneter Antennenstandort muss den Anforderungen des Herstellers im Hinblick auf Erdung für den Hochstrom- und Hochspannungsschutz erfüllen. Zu den hochfrequenten Anforderungen zählt eine entsprechende Groundplane, als elektrisches Gegengewicht für die Antenne. Eine abschattungs- und reflexionsarme Umgebung für die Antenne ist zu finden, damit ein Signal aus allen Richtungen bestmöglich empfangen, aber auch abgestrahlt werden kann. Dachaufbauten auf dem Fahrzeug können Abschattungseffekte oder Reflexionen erzeugen, die einem ungestörten Betrieb des Systems entgegenstehen. Allerdings könnten sich diese Effekte auch gezielt zur Vermeidung von Störungen der Systeme untereinander nutzen lassen. Die Eignung eines Antennenstandorts kann im Vorfeld durch Simulation ermittelt oder auch durch Messungen bestimmt werden. Ein Maß für die Eignung eines Antennenstandorts ist das VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) oder Stehwellenverhältnis. Der dimensionslose VSWR-Wert beschreibt die Fähigkeit einer Antenne, Leistung ungehindert abstrahlen zu können und wird als Verhältnis 1:1,x angegeben. Je mehr störende bzw. reflektierende Objekte sich im direkten Umfeld der Antenne befinden oder je schlechter die Anpassung der Antenne an den Sender ist, desto größer wird dieser Wert. Der anzustrebende VSWR-Wert ist also idealerweise möglichst klein, für GSM-R werden VSWR-Werte von 1:1,6 als akzeptabel bewertet. Für FRMCS mit seinen Breitbandantennen ist ein Kompromiss zu finden, da sich rein technisch im Antennendesign ideale VSWR-Werte nur für schmalbandige Antennen realisieren lassen.

Ein weiteres großes Betrachtungsfeld ist die Koexistenz der Funksysteme untereinander, da sich prinzipiell alle Funksysteme gegenseitig stören können. Mit Einführung von FRMCS wird die Koexistenzbetrachtung mehrdimensional, da nun der parallele Betrieb zweier betrieblich genutzter Mobilfunksysteme betrachtet werden muss, die zudem noch teilweise im selben Spektrum bei 900 MHz betrieben werden können bzw. in einigen Ländern sogar betrieben werden müssen. Die folgenden Betrachtungsfälle für die notwendigen Koexistenzanforderungen der Systeme kommen neu hinzu:

- GSM-R versus FRMCS
- FRMCS versus GSM-R
- FRMCS versus andere Funkdienste.

Im Betrachtungsfall FRMCS gegenüber anderen Funkdiensten sind die Anforderungen zum Schutz anderer Dienste wie z.B. DECT als auch die Störbeeinflussung von FRMCS durch andere Funkdienste zu betrachten. Da aber die Systemparameter für FRMCS noch in der Entstehung sind, ist diese Betrachtung derzeit schwierig durchzuführen und kann nur auf der bestehenden Spektrumregulierung erfolgen.

4 Lösungsraum

Die in Kooperation mit einem der führenden Antennenhersteller entwickelte Antenne FANT (Bild 1) stellt den ersten Schritt in Richtung Fahrzeugmigration für FRMCS dar, da die Antenne den störungsfreien Betrieb zweier GSM-R Funkmodule des Typs MT5E an einer Antenne erlaubt. Betrachtet man den in Abschnitt 3 beschriebenen einfachsten Fall mit drei notwendigen Antennen, so kann der durch den Einsatz der FANT freiwerdende Antennenstandort für eine zusätzliche FRMCS-Antenne genutzt werden. Voraussetzung hierfür ist allerdings die Eignung des Standorts entsprechend den Empfehlungen [3].

static properties of the vehicle's roof, the high-frequency properties of the mobile radio channel and, finally, the coexistence requirements with the other radio systems.

A suitable antenna location must meet the manufacturer's requirements with regard to grounding for high-current and high-voltage protection. The high-frequency requirements include a corresponding ground plane as an electrical counterweight for the antenna. A low-shadow and low-reflection environment for the antenna must be found so that a signal can be received and emitted from all directions in the best possible way. Roof structures on the vehicle can cause shadowing effects or reflections that prevent the system from operating without interference. However, these effects could also be used to prevent interference between the systems. The suitability of an antenna location can be determined in advance by means of simulations or measurements. One measure of the suitability of an antenna location is the VSWR (Voltage Standing Wave Ratio). The dimensionless VSWR value describes the ability of an antenna to radiate power unhindered and is given as a ratio of 1:1.x. The more interfering or reflecting objects there are in the direct vicinity of the antenna or the poorer the matching of the antenna to the transmitter, the higher this value becomes. The VSWR value to be aimed for is therefore ideally as small as possible. VSWR values of 1:1.6 are considered acceptable for GSM-R. A compromise must be found for FRMCS with its broadband antennas, since technically the ideal VSWR values can only be realised for narrowband antennas.

Another major area of consideration is the coexistence of radio systems with each other, since all radio systems can interfere with each other in principle. The introduction of FRMCS renders the consideration of coexistence multidimensional, since the parallel operation of two operationally used mobile radio systems, which can also be operated in the same spectrum at 900 MHz or even have to be operated in some countries, must now be considered. The following cases for the necessary coexistence requirements of the systems are new:

- GSM-R versus FRMCS
- FRMCS versus GSM-R
- FRMCS versus other radio services.

In the case of FRMCS in relation to other radio services, the requirements for the protection of other services such as DECT, as well as the interference of FRMCS by other radio services, must also be considered. However, this consideration is currently difficult to implement given that the system parameters for FRMCS are still being developed and it can therefore only be undertaken on the basis of the existing spectrum regulation.

4 Solution space

The FANT antenna (fig. 1), developed in cooperation with one of the leading antenna manufacturers, represents the first step towards vehicle migration for FRMCS, as this antenna allows two GSM-R radio modules of the MT5E type to be operated on one antenna without any interference. If we consider the simplest case described in section 3 where three antennas are required, the antenna location freed up by the use of the FANT can be used for an additional FRMCS antenna. However, this is only possible if the location is suitable according to the conditions [3].

The Funkwerk antenna is a first step towards the migration to FRMCS, but further steps will also be necessary to meet the challenges of the future. Only when the coexistence requirements of

Mit der Funkwerk-Antenne ist ein erster Schritt in Richtung Migration hin zu FRMCS getan, es werden aber weitere Schritte notwendig sein, um die Herausforderungen der Zukunft zu meistern. Erst mit der vollständigen Definition der Koexistenzanforderungen der Funksysteme können Fahrzeugbetreiber und -hersteller z. B. nach geeigneten Montageorten auf dem Fahrzeug suchen. Im Rahmen des ERJU (Europe's Rail Joint Undertaking) Innovation Pillar sollen im „Work Package 25.3 FRMCS antenna design“ neue Antennensysteme untersucht werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind eine Chance für die Entwicklung neuer Antennen und Technologien, wie z. B. dem Einsatz von Meta-Materialien. Ebenso könnte Beamforming die Lösung für einige der Koexistenzfragen sein, da es die gezielte Versorgung einzelner Fahrzeuge ermöglicht, ohne andere Endgeräte zu stören. In jedem Fall wird in Sachen Antennentechnologien für FRMCS ein Out-of-the-Box-Denken notwendig sein, um effiziente und kostengünstige Lösungen zu finden. ■

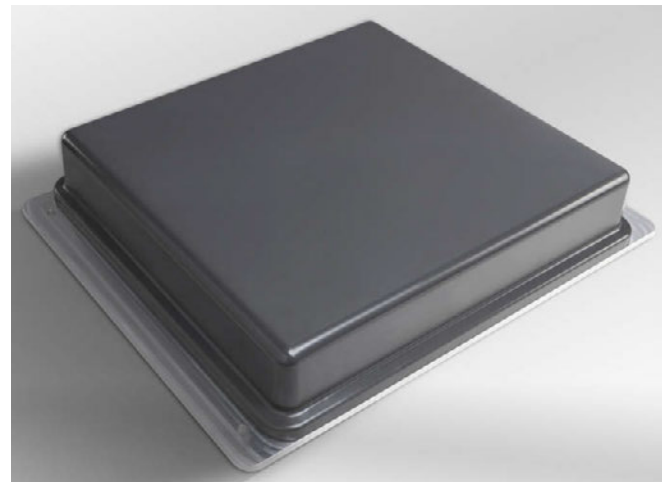


Bild 1: Funkwerk-Antenne FANT

Fig. 1: The Funkwerk FANT antenna

LITERATUR | LITERATURE

- [1] Schattschneider, D.; Kaiser, F.: ETCS – Der Weg von GSM-R zu FRMCS, SIGNAL+DRAHT 7/2024
 [2] Sektorinitiative FRMCS-Fahrzeugmigration (<https://www.frmcs-fahrzeuginitiative.de/sektoer>)
 [3] Technische Empfehlung – Antennenkopplung auf Schienenfahrzeugen, VDB-Schrift 004, Juni 2023, <https://www.dvmedia-shop.de/buecher-reports/rail/1559/technische-empfehlung-antennenkopplung-auf-schienenfahrzeugen-te-ant>

AUTOR | AUTHOR

Dirk Schattschneider

Produktmanager und Leiter Business Development /
 Productmanager and Head of Business Development
 Funkwerk
 Anschrift / Address: Im Funkwerk 5, D-99625 Kölleda
 E-Mail: dirk.schattschneider@funkwerk.com

the radio systems have been fully defined will vehicle operators and manufacturers be able to look for suitable installation locations on the vehicle.

New antenna systems are to be investigated in “Work Package 25.3 FRMCS antenna design” as part of the ERJU (Europe's Rail Joint Undertaking) Innovation Pillar. The results of the investigations constitute an opportunity for the development of new antennas and technologies, such as the use of meta-materials. Beamforming could also be the solution to some of the coexistence issues, as it enables the targeted supply of individual vehicles without interfering with other end devices. In any case, out-of-the-box thinking will be necessary in terms of antenna technologies for FRMCS in order to find efficient and cost-effective solutions. ■

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
 KÜNSTLICHE INTELLIGENZ
 ILBS
 ETCS

5G-RACOM – Feldstudie zu hybriden FRMCS-Netzen für ein resilientes Bahnfunksystem

5G-RACOM – field study on hybrid FRMCS networks for resilient rail communications

Tomas Karabinos | Bernd Hoffeld | Richard Fritzsche | Nico Alte | Manfred Taferner | Shaik Muhammed Zubair Basha | Klaus Moessner | Nour Chkeri

Das deutsch-französische Innovationsprojekt 5G-RACOM untersucht die effiziente, zuverlässige und nachhaltige Nutzung des Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) und seines Frequenzspektrums. Als Nachfolger von GSM-R wird FRMCS eine echtzeitfähige, hoch-performante Zug-Land-Kommunikation auf Basis von 5G sicherstellen und damit eine weitreichende Digitalisierung des Bahnbetriebs ermöglichen. Das Projekt untersucht hybride FRMCS-Netze, bei denen öffentlicher Mobilfunk das betriebseigene Bahnfunksystem ergänzt, beispielsweise als Rückfallebene oder zur Kapazitätserweiterung. Hierzu werden Fähigkeiten der MP-TCP- und MP-QUIC-Mehrwegeprotokolle genutzt.

1 Über FRMCS und das 5G-RACOM-Projekt

Die fortschreitende Digitalisierung und Automatisierung des Bahnbetriebs geht einher mit anspruchsvollen Konnektivitätsanforderungen, die das derzeitige 2G-basierte Zugfunksystem GSM-R nicht erfüllt. Da GSM-R in den 2030er Jahren zudem obsolet wird, wird auf europäischer Ebene das 5G-basierte FRMCS entwickelt [1, 2]. FRMCS wird angetrieben durch den Bedarf an einer verbesserten, zukunftssicheren und langfristigen bahnbetrieblichen Telekommunikation, einer verbesserten Interoperabilität sowie mehr Flexibilität zur Unterstützung des modernen und effizienten Eisenbahnbetriebs.

Die FRMCS-Standardisierung wird von der UIC (Internationaler Eisenbahnverband) und ETSI (Europäisches Institut für Telekommunikationsnormen) geprägt. Zwei Mobilfunk-Frequenzbänder (900 MHz und 1900 MHz) wurden für die Einführung von FRMCS in Europa zugewiesen [3], wobei Teile des allokierten Frequenzspektrums bereits heute mit GSM-R (900 MHz) genutzt werden. Der Zugang zu weiteren Frequenzressourcen von öffentlichen Mobilfunknetzbetreibern (PMNO) wird als Ergänzung erwogen. Die FRMCS-Architektur basiert auf zwei Hauptparadigmen: (1) Modularität, die eine Trennung von Anwendung und Übertragungssystem ermöglicht, und (2) Verwendung von standardisierten Komponenten und Off-the-Shelf-Technologien. Die Diensteunterstützung basiert auf dem sog. MCx-Framework, während für die Übertragung die 5G SA (5G Standalone)-Technologie verwendet wird. Diese bietet die Flexibilität, andere Zugangstechnologien sowie Netzwerke zu integrieren. Sowohl die Übertragungsschicht als auch die Dienste sind von 3GPP standardisiert.

Um weitere Fortschritte zu erzielen, haben sich französische und deutsche Eisenbahninfrastrukturbetreiber, Telekommunikationsanbieter, Forschungsinstitute und Hochschulen im Projekt 5G-RACOM (5G for Resilient and Green RAil COMmunications) [4, 5] zusammengeschlossen. Das Projekt wird im Rahmen des Innovationsprogramms "Franco-German Ecosystem for Private 5G Networks" gemeinsam

The German-French 5G-RACOM innovation project is investigating the efficient, reliable and sustainable use of the Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) and its frequency spectrum. As the successor to GSM-R, FRMCS will ensure high-performance and real-time train-to-ground communication based on 5G, thereby enabling railway digitalisation. The project examines hybrid FRMCS networks, where public mobile connectivity complements the railway radio system for fallback or capacity enhancement by utilising the capabilities of the MP-TCP and MP-QUIC multipath protocols.

1 About FRMCS and the 5G-RACOM project

The advancing digitalisation and automation of rail operations is associated with highly demanding connectivity requirements. The 5G-based FRMCS is currently under development at the European level [1, 2], because the present 2G-based railway mobile communication system GSM-R does not meet these demands and will become obsolete in the 2030s. FRMCS is driven by the need for improved connectivity and performance, future-proofing to ensure long-term viability, enhanced interoperability and flexibility to support modern and efficient railway operations.

FRMCS standardisation is being driven forward by the UIC (International Union of Railways) and ETSI (European Telecommunications Standards Institute) within the Technical Committee for Railway Telecommunications (TC RT). Two railway mobile radio (RMR) frequency bands (at 900 MHz and 1900 MHz) have been allocated for FRMCS deployment in Europe [3], while parts of the radio spectrum are already in use with GSM-R (at 900 MHz). The access to additional spectrum resources from public mobile network operators (PMNOs) is considered to be complementary. The FRMCS architecture is based on two main paradigms: (1) modularity, which enables the separation of the application and the communication system, and (2) the use of standardised components and off-the-shelf technologies. The services are based on the mission critical services framework (MCx), while the transport utilises 5G SA (5G standalone) technology, which offers the flexibility to integrate other access technologies in addition to networks. Both the transport and services are standardised by 3GPP.

French and German railway infrastructure managers, telecommunication vendors, research institutes and academia have joined forces in the 5G-RACOM (5G for Resilient and Green RAil COMmunications) project [4, 5] to make further progress.

vom deutschen Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und dem französischen Ministère de l'Économie et des Finances et de la Relance (MEFR) gefördert. Es läuft über drei Jahre bis Ende 2025 und erforscht, entwickelt und demonstriert Schlüsseltechnologien, um ein effizientes, resilientes und zukunftssicheres FRMCS-System über folgende Arbeitsschwerpunkte zu erreichen:

- 1) Effiziente Nutzung des verfügbaren FRMCS-Frequenzspektrums durch die Bereitstellung akkurater 900-MHz- und 1900-MHz-Kanalmodelle für ausgewählte Eisenbahnumgebungen auf Basis von Kanalmesskampagnen (zur Verbesserung der Funknetzplanung). Darüber hinaus Durchführung von Analysen zur FRMCS/GSM-R-Technologiekoexistenz im 900-MHz-Band.
- 2) Untersuchung hybrider Netzwerkansätze, welche private FRMCS- und öffentliche 5G-Netze kombinieren, auf Basis verschiedener Anwendungsfälle (z.B. Rückfallebene oder Kapazitätserweiterung) sowie Architekturoptionen und darüber hinaus Implementierung und Demonstration ausgewählter Mehrwegeprotokollösungen für die parallele und nahtlose Nutzung beider Netze.

2 Anwendungsfälle und Architekturen für hybride FRMCS-Netze

In hybriden FRMCS-Netzwerkarchitekturen können Anwendungen des künftigen Bahnbetriebs, die primär das private FRMCS-Netz nutzen, eine ergänzende, unabhängige Infrastruktur öffentlicher 5G-Netze verwenden und auf zusätzliche Frequenzspektren zugreifen. Dies ist vorteilhaft für die Erhöhung der Ausfallsicherheit und Verfügbarkeit im Bahnfunksystem durch parallele Nutzung mehrerer unabhängiger Verbindungen (d.h. Datenpfade). Zudem wird die Kapazität für datenintensive Dienste erhöht, betrieblich weniger relevanter Datenverkehr bei Bedarf ausgelagert und die Gesamtabdeckung verbessert. 5G-RACOM wird diese Vorteile anhand von verschiedenen Anwendungsfällen testen und demonstrieren (Bild 1).

Um die 5G-RACOM-Anwendungsfälle zu unterstützen, gibt es mehrere Realisierungsoptionen für hybride FRMCS-Netzwerkarchitekturen. Jede Architektur weist bestimmte Merkmale auf und unterliegt den Randbedingungen und der Anwendbarkeit im jeweiligen Land oder in der jeweiligen verantwortlichen Organisation. So sind beispielsweise Gesetzgebung, Funkabdeckung, Verfügbarkeit eingesetzter Technologien sowie Geschäfts- und Betriebsmodelle zu berücksichtigen. In operativen FRMCS-Netzen muss darüber hinaus über weitere Designaspekte wie Unterstützung von Roaming, Nutzung verschiedener Netz-

The project has been established under the “Franco-German Ecosystem for Private 5G Networks” innovation program set up by the German Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK) and the French Ministère de l'Économie et des Finances et de la Relance (MEFR). It will run over three years to the end of 2025 and investigate, develop and demonstrate key technologies in order to achieve a green, resilient and future-proof FRMCS system using the following two paths:

- 1) Exploiting the available FRMCS frequency spectrum most efficiently by providing accurate 900 MHz and 1900 MHz channel models for railway environments based on channel sounding campaigns (for improving radio planning and deployments) and by conducting an FRMCS/GSM-R technology coexistence analysis in the 900 MHz band.
- 2) Investigating hybrid network approaches that combine private FRMCS and public 5G networks, studying different use cases (e.g. fallback and capacity enhancement) as well as architecture options and implementing and demonstrating selected multipath protocol solutions for the parallel and seamless use of both networks.

2 Use cases and architectures for hybrid FRMCS networks

In hybrid FRMCS network architectures, future railway applications that primarily use private FRMCS networks will be able to leverage the additional and independent infrastructure from public 5G networks and access an additional frequency spectrum. This is advantageous for increasing resilience and availability in railway communications by means of the parallel use of multiple independent connections (i.e. data paths). It also provides capacity enhancement for bandwidth-intensive services, offloads non-critical traffic when necessary and improves overall coverage.

5G-RACOM will test and eventually demonstrate these benefits using real railway applications in several high-level use cases, as illustrated in fig. 1.

There are multiple hybrid FRMCS network architecture options available to support the aforementioned use cases. Each architecture provides certain characteristics and is subject to availability and applicability in the specific country or organisation, while taking factors such as legislation, coverage, the technologies in use and the business and operating models into account. Operational FRMCS

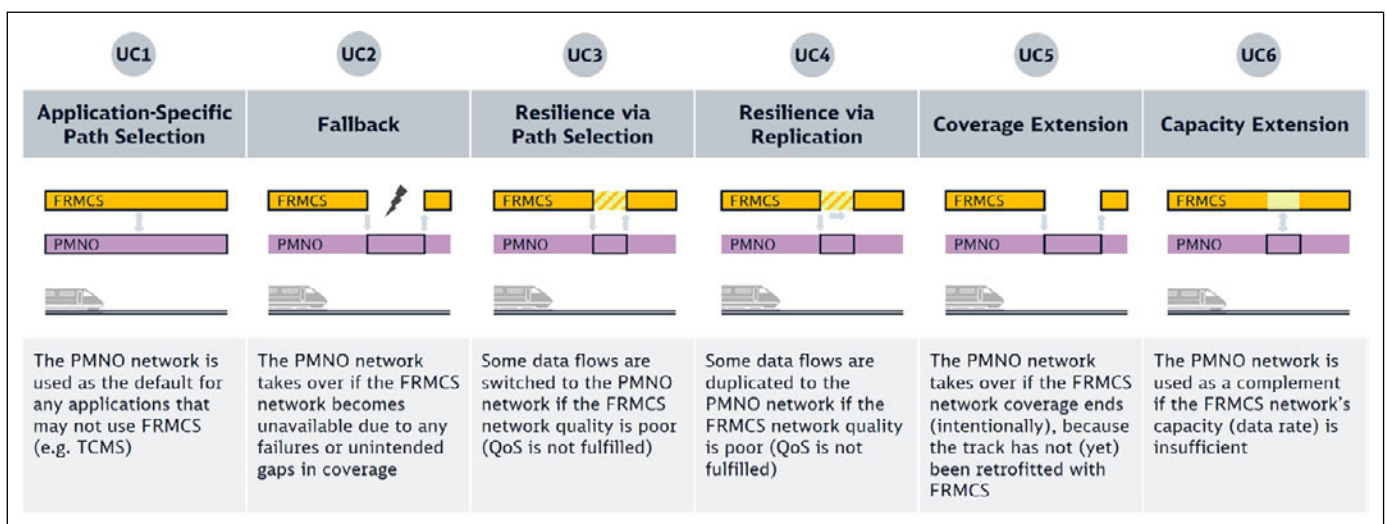


Bild 1: 5G-RACOM Anwendungsfälle

Fig. 1: 5G-RACOM use cases

Quelle / Source: DB

zugangstechnologien und verteilte Architekturen entschieden werden. Es werden neue Lösungen und technische Fähigkeiten benötigt, um all diese Anwendungsfälle vollständig umzusetzen. Das Projekt 5G-RACOM sieht die Implementierung von Multipfad-Funktionalität als wesentlich für die Erfüllung dieses Ziels an. Hierbei sei erwähnt, dass die FRMCS-Systemanforderungsspezifikation (SRS) der UIC die Multipfad-Funktionalität standardisiert und als optionale Funktion ausweist. Die Funktionalität wird durch die Multipath-Funktion (MPF) im traditionellen Client-Server-Modell unter Verwendung fortgeschrittener Mehrwege-Transportprotokolle wie MP-QUIC oder MP-TCP implementiert. Die MPF unterstützt Schlüsselfunktionen wie die Pfadsteuerung, die den Datenverkehr über den gewünschten Pfad leitet, und die Pfadumschaltung, bei welcher der Datenverkehr nahtlos von einem auf den anderen Pfad übergeht. Bei der Pfadteilung wird der Verkehr auf mehrere Datenpfade aufgeteilt, während bei der Replikation Datenpakete über mehrere Pfade kopiert übertragen werden. Zudem stellt MPF sicher, dass Anwendungen weiterhin Standard-Transportprotokolle wie TCP oder UDP verwenden können, wodurch Transparenz ggü. der Applikation erhalten bleibt. Weitere Einzelheiten sind in Abschnitt 4 zu finden. MPF ersetzt nicht zwangsläufig die Art der Zusammenschaltung mehrerer Netze, wie durch National Roaming oder MOCN (Multi-Operator Core Networks). Vielmehr kann es auch in Kombination mit diesen eingesetzt werden, um zusätzliche Funktionalitäten bereitzustellen und die Effektivität dieser Netzstrukturen zu verstärken, insbesondere in dynamischen Umgebungen, wie man sie im Bahnbetrieb vorfindet. Bild 2 zeigt ausgewählte hybride FRMCS-Netzarchitekturen zusammen mit MPF, einschließlich der von ihnen unterstützten Anwendungsfälle und der voraussichtlichen Leistung beim Wechsel zwischen den Netzen (Pfadern).

3 Multipath-Architektur in 5G-RACOM

5G-RACOM implementiert ein Architekturmodell mit einem 5G-basierten FRMCS-Netz und einem zusätzlichen öffentlichen 5G-Netz mit eigenständiger SIM-Karte (Public Subscription), siehe Bild 3. Der streckenseitige FRMCS-Diensteserver (MCx-Server) stellt Dienste für Bahnanwendungen bereit, die MCPTT-, MCDData- oder potenziell

networks must, in principle, support further use cases such as roaming, the use of various network access technologies and distributed architectures. New solutions and technical capabilities are needed to fully support all these use cases and the 5G-RACOM project sees the implementation of multipath functionality as essential to fulfill this objective. Note that the UIC's FRMCS System Requirements Specification (SRS) is standardising multipath functionality and designated it as an optional feature.

Multipath functionality will be implemented through the multipath function (MPF) in the traditional client-server model using advanced multipath transport protocols such as MP-QUIC or MP-TCP. The MPF will support key capabilities such as path steering, which directs traffic along the desired path, and path switching, which seamlessly transitions traffic between paths. Path splitting divides the traffic across multiple paths, while replication copies data packets across several paths. Additionally, the MPF ensures that applications can continue to use standard transport protocols such as TCP or UDP, thereby maintaining transparency. See Section 4 for more details.

The MPF does not replace multi-network access architectures such as national roaming or MOCN (Multi-Operator Core Networks). Rather, it has the potential to complement and bolster the effectiveness of these network structures by providing additional capabilities, especially in dynamic environments such as those encountered by a moving train. Fig. 2 illustrates selected hybrid FRMCS network architectures together with MPF, including their supported use cases and estimated performance related to switching between networks (paths).

3 Multipath architecture in 5G-RACOM

5G-RACOM's hybrid FRMCS network architecture corresponds to an implementation with a public subscription model and has been further elaborated in fig. 3. The FRMCS service server (i.e. an MCx Server) located in the trackside system provides the services offered to railway applications utilising MCPTT, MCDData or potentially MCVideo capabilities. On the train, the onboard gateway with

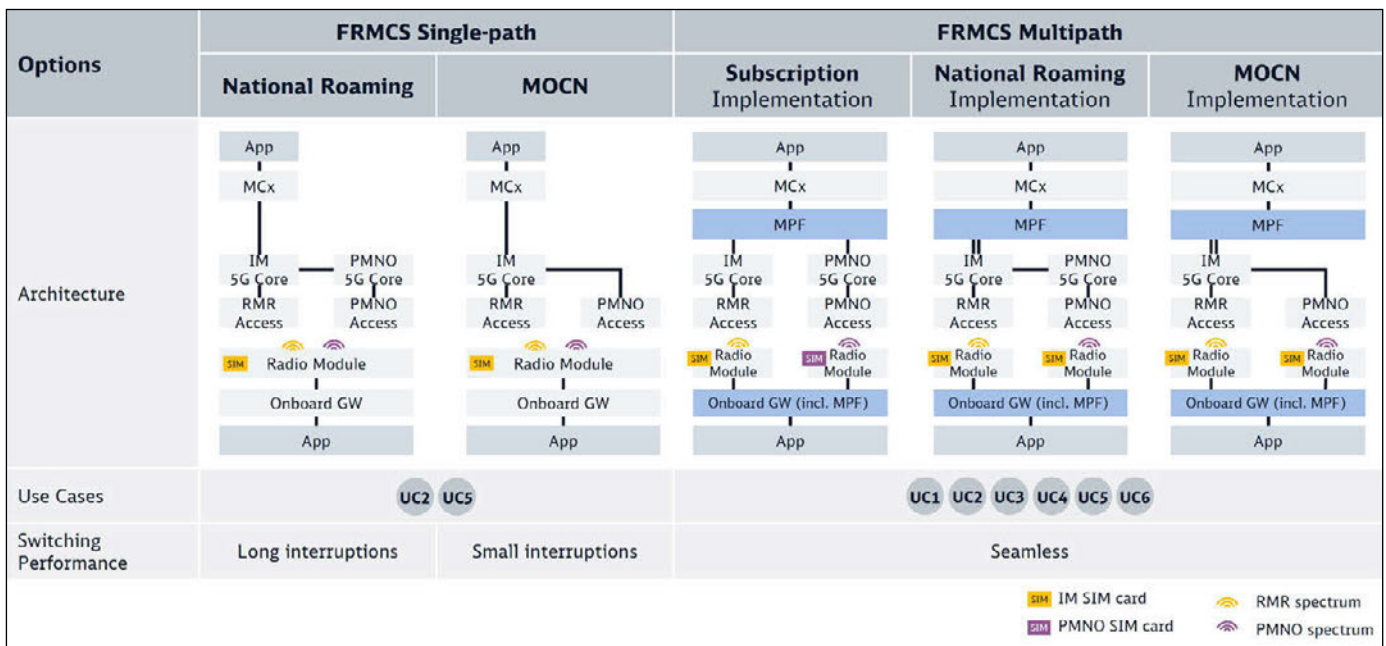


Bild 2: Architekturoptionen für hybride FRMCS-Netze

Fig. 2: Selected hybrid FRMCS network architectures

Quelle / Source: DB

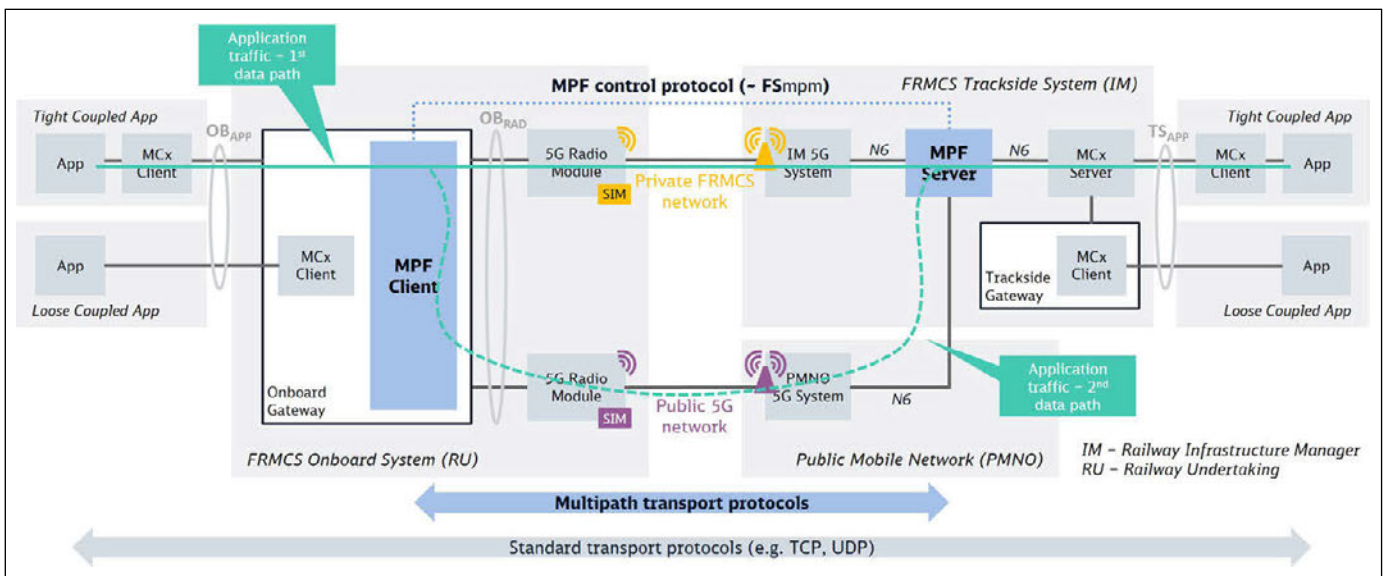


Bild 3: Hybride FRMCS-Netzwerkarchitektur im 5G-RACOM-Projekt

Fig. 3: A hybrid FRMCS network architecture for the 5G-RACOM project

Quelle / Source: DB

MCVideo-Funktionen nutzen. Im Zug ermöglicht das fahrzeugeitige Onboard-Gateway mit MCx-Client(s) mehreren Eisenbahnanwendungen den Zugriff auf das hybride FRMCS-Netz und den MCx-Server. Die MPF muss sowohl auf der Fahrzeugseite (MPF-Client) als auch auf der Streckenseite (MPF-Server) des FRMCS-Systems umgesetzt werden. Zwei 5G-Funkmodule, mit einer privaten FRMCS-SIM-Karte und der 5G-SIM-Karte eines öffentlichen Mobilfunkbetreibers (PMNO), werden in die bordseitige Systemarchitektur integriert und mit dem Onboard-Gateway verbunden, sodass jedes Netz einen unabhängigen Datenpfad bereitstellt. Das private FRMCS-Netz des Eisenbahn-Infrastrukturmanagers (IM 5G System) und das öffentliche 5G-Netz (PMNO 5G System) werden nur auf der User Plane (d.h. Datenübertragungsebene) über die N6-Schnittstelle und über den MPF-Server integriert. Der MPF-Server verankert den gesamten Datenverkehr und wird in Form eines eigenständigen GW/Proxy zwischen den 5G-Systemen und anderen streckenseitigen Netzwerkelementen wie dem MCx-Server eingesetzt. Hierbei ist zu erwähnen, dass der MPF-Server im Rahmen der Möglichkeiten von 5G-RACOM nicht mit dem MCx-Server oder der Policy Control Function (PCF) auf der Control Plane (d.h. N5/N33-Signalisierung) integriert wird, obwohl dies für spätere betriebliche Einsätze für eine Interaktion mit dem 5G-QoS-Management vorgesehen ist. MPF-Client und -Server unterstützen die Mehrwege-Transportprotokolle MP-QUIC und MP-TCP.

4 Multipath-Protokolle in 5G-RACOM

Herkömmliche Transportprotokolle wie TCP und UDP sind für die Datenübertragung über einen Pfad zwischen Quelle und Ziel konzipiert. Sie ermöglichen eine zuverlässige Datenübertragung (TCP) oder eine schnellere, verbindungslose Kommunikation (UDP). Mit Mehrwege-Transportprotokollen können Daten parallel über verschiedene Pfade übertragen werden, wodurch sich Bandbreitennutzung und Zuverlässigkeit erheblich verbessern. Dieser Ansatz erweitert das Einpfad-Konzept, indem er verschiedene Sub-Flows anlegt, mit jeweils eigener IP-Adresse, die aber zur selben Verbindung gehören (Bild 4).

Mehrwege-Transportprotokolle führen neue Funktionen ein, wie z.B.:

- **Steering (Pfadsteuerung):** Die Fähigkeit, eine oder mehrere Netzwerkschnittstellen für neue Datenströme auszuwählen und zu verwenden. Sie ermöglicht dem Mehrwegetransport, den ankomen-

MCx Client(s) allows multiple railway applications inside the train to access the hybrid FRMCS network and the MCx Server. The MPF must be implemented both onboard (MPF Client) and at the trackside (MPF Server) of the FRMCS system.

Two 5G radio modules, one with a private FRMCS SIM card and one with a public 5G SIM card, will be integrated into the onboard system architecture and connected to the onboard gateway, meaning that each network will provide an independent data path. The private FRMCS network of the infrastructure manager (IM 5G System) and the public 5G network (PMNO 5G System) will be integrated only at the user plane level (i.e. data only) using the N6 interface and through the MPF Server. The MPF Server will anchor all the data traffic and will be deployed in the form of a standalone GW/proxy, residing between the 5G systems and other trackside network elements such as the MCx server. Note that the MPF Server will not be integrated with the MCx Server or the Policy Control Function (PCF) on the control plane level (i.e. N5/N33 signaling) under the 5G-RACOM project, though this is envisioned for operational deployments in order to enable 5G QoS management interaction. The MPF client and server will support the MP-QUIC and MP-TCP multipath protocols.

4 Multipath protocols in 5G-RACOM

Traditional transport protocols such as TCP and UDP are designed for single-path data transmissions between a source and destination. These protocols enable reliable data transfers (TCP) or faster, connectionless communication (UDP). Multipath transport protocols allow the data to be transmitted simultaneously over multiple paths, thereby significantly improving bandwidth utilisation and reliability. This approach extends the single-path concept by creating different sub-flows, each with its own IP address, but belonging to the same connection (fig. 4).

Multipath transport protocols introduce new capabilities such as:

- **Steering:** the ability to select and use one or more specific network interfaces for new data flows. This enables multipath transport to be aware of any incoming traffic and select the appropriate network that fulfils the traffic requirements.

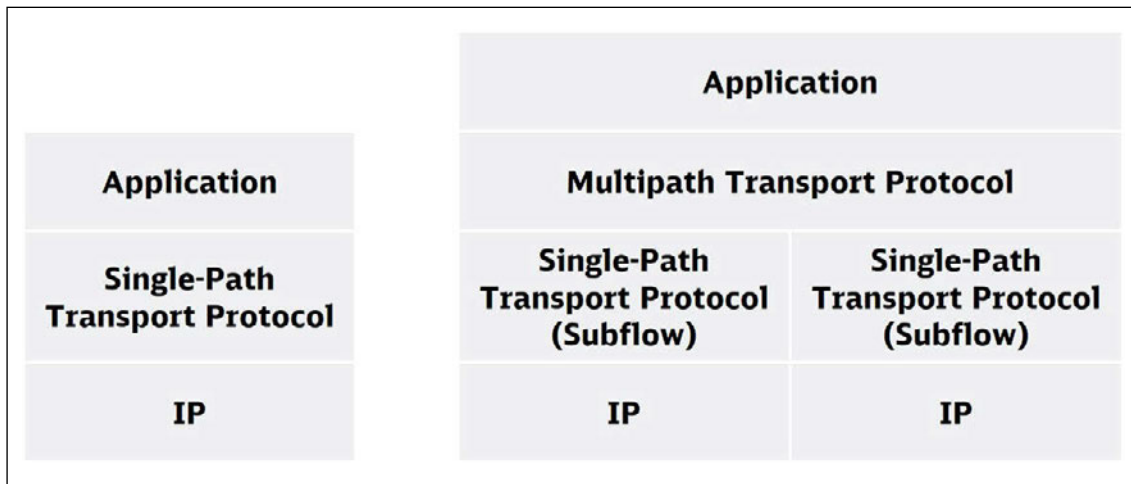


Bild 4: Einwege- und Mehrwegeprotokolle
 Fig. 4: Traditional (single-path) and multipath protocols
 Quelle / Source: TU Ilmenau

den Datenverkehr zu erkennen und das geeignete Netz auszuwählen, das die zugehörigen Anforderungen erfüllt.

- **Switching (Pfadumschaltung):** Diese Funktion ermöglicht die Handover-Mechanismen der Transportschicht und die Migration von Verbindungen. Wenn das primäre Netz oder eines der Netze eines bestimmten Datenflusses eine Verschlechterung aufweist, gewährleistet die Pfadumschaltung die Kontinuität des Dienstes.
- **Splitting (Pfadteilung):** Diese Funktion verteilt den Datenverkehr eines Datenflusses auf mehrere Sub-Flows und Pfade, um entweder die Gesamtkapazität zu erhöhen oder die Zuverlässigkeit und Ausfallsicherheit zu verbessern.
- **Replikation:** Eine weitere Form der Aufteilung, bei der dasselbe Paket über mehrere Sub-Flows gleichzeitig gesendet wird, wodurch die Gesamtkapazität verringert, die Zuverlässigkeit kritischer Daten jedoch erhöht wird.

Das 5G-RACOM-Projekt hat eine umfangreiche Bewertung durchgeführt, um das/die am besten geeignete(n) Multipfad-Protokoll(e) für die Implementierung und Erprobung auszuwählen. Folgende Protokolle wurden in Betracht gezogen: Multipath TCP (MP-TCP), Multipath QUIC (MP-QUIC), Stream Control Transmission Protocol (SCTP) mit Concurrent Multipath Transfer (CMT), Multipath Datagram Congestion Control Protocol (MP-DCCP), Multipath UDP (MP-UDP), Software-Defined Wide Area Network (SD-WAN) und Load Balancing-Based IP Routing.

Durch den Bewertungsprozess wurden allgemeine Herausforderungen für alle Multipath-Protokolle identifiziert und Lösungen bzw. Abhilfemaßnahmen definiert. Eine der größten Herausforderungen ist das Fehlen einer eigenständigen GW/Proxy-Lösung, die in der Lage ist, Mehrwege-Transportprotokolle künftig nahtlos in das Bestandsnetz zu integrieren. Die derzeitigen Implementierungen sind überwiegend end-to-end (e2e), d.h. Multipath wird auf der Anwendungsseite integriert. Eine weitere Herausforderung ist die Verwaltung doppelter Kontrollschleifen bei der Implementierung einer solchen GW/Proxy-Lösung. Dies würde die Handhabung des regulären e2e-Kontrollkreises des klassischen Transportprotokolls und eines zusätzlichen Kontrollkreises zwischen den MPF, die als Gateways fungieren, erfordern. Diese doppelte Verwaltung führt zu Komplexität bei sog. Retransmissions, Acknowledgements und der allgemeinen Protokolleffizienz (Bild 5).

Als Ergebnis der Analyse wurden MP-TCP- und MP-QUIC-Protokolle aufgrund ihrer Übereinstimmung mit betriebswirtschaftlichen Kriterien, den allgemeinen funktionalen Anforderungen und den Leistungsindikatoren ausgewählt. Während MP-TCP die meisten Kriterien erfüllt, bietet MP-QUIC zusätzliche Vorteile und Performancepotenziale.

- **Switching:** this feature enables the transport layer’s handover mechanisms and connection migration. When the primary network or any of the networks used for a specific data flow degrades, the switching functionality ensures service continuity by moving the data to available resources in order to maintain the best possible service.
- **Splitting:** this functionality distributes a data flow’s traffic across multiple sub-flows and paths either to increase overall capacity or enhance reliability and fault tolerance.
- **Replication:** another form of splitting where the same packet is sent over some or all sub-flows simultaneously, thereby decreasing the overall capacity, but increasing the reliability of critical data.

The 5G-RACOM project conducted a multi-criteria assessment to select the most suitable multipath protocol(s) for implementation and testing. The considered candidate protocols were Multipath TCP (MP-TCP), Multipath QUIC (MP-QUIC), Stream Control Transmission Protocol (SCTP) with Concurrent Multipath Transfer (CMT), Multipath Datagram Congestion Control Protocol (MP-DCCP), Multipath UDP (MP-UDP), Software-Defined Wide Area Network (SD-WAN) and Load Balancing-Based IP Routing.

By means of this process the general challenges for all the multipath protocols were identified and solutions or mitigations were defined. One major challenge involves the lack of a standalone GW/proxy solution capable of seamlessly integrating multipath transport protocols into existing network infrastructure. Current implementations are predominantly end-to-end (e2e), meaning that the multipath is integrated on the application side. Another significant challenge involves managing double control loops when implementing such GW/proxy solutions. This would require handling the regular e2e control loop of the standard transport protocol and an additional control loop between the MPFs that act as gateways. This dual management leads to complexities in retransmissions, acknowledgements and overall protocol efficiency (fig. 5).

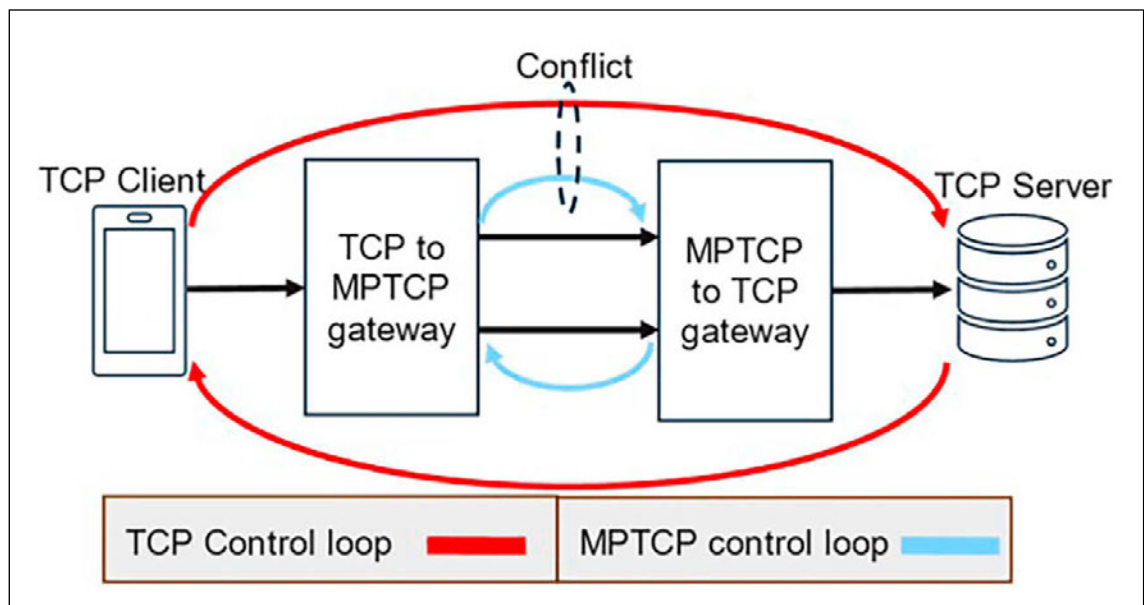
The MP-TCP and MP-QUIC protocols were selected due to their alignment with the business criteria, general functional requirements and performance indicators based on the analysis and assessment. While MP-TCP appears to fulfil most of the criteria, MP-QUIC offers additional benefits and the potential to outperform it.

- MP-TCP extends the traditional TCP, making it easier to deploy and integrate as it is already part of the Linux kernel. This enhanc-

Bild 5: Regelkreisproblem bei einer Gateway-Lösung

Fig. 5: Control loop problem in a gateway solution

Quelle / Source: TU Ilmenau



- MP-TCP erweitert das herkömmliche TCP, was Bereitstellung und Integration erleichtert, da es bereits Teil des Linux-Kernels ist. Es erhöht die Zuverlässigkeit, indem es mehrere Pfade aggregiert und nahtlose Failover-Fähigkeiten bietet. Die Kontrollmechanismen der Pfade können jedoch nicht ausgeschaltet werden.
- MP-QUIC basiert auf dem modernen QUIC-Protokoll, das von vorne herein niedrige Latenzzeiten und bessere Leistung für HTTP/3-Datenverkehr unterstützt. Es wurde entwickelt, um Multipath-Operationen effizient zu handhaben und Probleme mit Warteschlangenblockierungen in TCP zu reduzieren. MP-QUIC verwendet unabhängige Sequenznummern für Pfade, was eine effiziente Neuordnung ermöglicht und die Latenzzeit verringert. MP-QUIC befindet sich jedoch noch in der Entwicklungsphase und wird möglicherweise noch nicht umfassend unterstützt. Zudem bestehen Probleme mit verschlüsselter Paketprüfung und Handhabung durch Middleboxes.

Um eine dynamisch verwaltete MPF-Lösung für das hybride FRMCS-Netz zu implementieren, könnte ein **Kontrollprotokoll**, wie in Bild 3 dargestellt und von der FRMCS SRS der UIC über den FSMPPM-Referenzpunkt definiert, zwischen MPF-Client und -Server erforderlich werden, um eine nahtlose Mehrwegeverbindung sowie ein sicheres und effizientes Mehrwege-Management zu gewährleisten. Dieses Protokoll sollte Funktionen von 3GPP/IETF-Standards nutzen, z.B.: Echtzeit-Kontrollsignalisierung; Überwachung und Meldung von Leistungskennzahlen (KPI) und Anwendungsanforderungen, die dem MPF-Server helfen, fundierte Entscheidungen über das Datenverkehrsmanagement zu treffen; sowie Richtlinienimplementierung und Entscheidungslogik. Letztere sorgt für eine effiziente dynamische Instanzierung und Parametrisierung, wodurch die Nutzung von Mehrwegeprotokollen und deren inhärenter Fähigkeiten optimiert wird, um die Anforderungen der Anwendungen so weit wie möglich zu erfüllen. Ein solches Steuerprotokoll muss diese Funktionen durch Erkennung, Einrichtung und Informationsaustausch erleichtern, um robuste, skalierbare und sichere Multipath-Management-Lösungen zu liefern. Im Rahmen von 5G-RACOM wird ein Konzept für ein Multipath-Kontrollprotokoll entwickelt, dessen Implementierung jedoch nicht Bestandteil des Projekts ist.

5 Felderprobung

Die Feldstudie, die Test- und Demonstrationsfahrten umfasst, wird im „Digitalen Testfeld Bahn“ der Deutschen Bahn AG (DB) im Erzgebirge

erhöht die Zuverlässigkeit durch Aggregieren mehrerer Pfade, die nahtlose Failover-Fähigkeiten bieten. Allerdings können die Kontrollmechanismen der Pfade nicht ausgeschaltet werden.

- MP-QUIC ist auf dem modernen QUIC-Protokoll basierend, das inhärent niedrige Latenzzeiten und eine bessere Leistung für HTTP/3-Traffic unterstützt. Es ist entwickelt, um Multipath-Operationen effizient zu handhaben und damit die Head-of-Line-Blockierungsprobleme in TCP zu reduzieren. MP-QUIC verwendet unabhängige Sequenznummern für verschiedene Pfade, die eine effiziente Neuordnung und Reduzierung der Latenzzeit ermöglichen. Allerdings ist MP-QUIC noch in der Entwicklungsphase und wird möglicherweise noch nicht umfassend unterstützt. Zudem bestehen Probleme mit verschlüsselter Paketprüfung und Handhabung durch Middleboxes.

Um eine dynamisch verwaltete MPF-Lösung für das hybride FRMCS-Netz zu implementieren, könnte ein **Kontrollprotokoll**, wie in Bild 3 dargestellt und von der FRMCS SRS der UIC über den FSMPPM-Referenzpunkt definiert, zwischen MPF-Client und -Server erforderlich werden, um eine nahtlose Mehrwegeverbindung sowie ein sicheres und effizientes Mehrwege-Management zu gewährleisten. Dieses Protokoll sollte Funktionen von 3GPP/IETF-Standards nutzen, z.B.: Echtzeit-Kontrollsignalisierung; Überwachung und Meldung von Leistungskennzahlen (KPI) und Anwendungsanforderungen, die dem MPF-Server helfen, fundierte Entscheidungen über das Datenverkehrsmanagement zu treffen; sowie Richtlinienimplementierung und Entscheidungslogik. Letztere sorgt für eine effiziente dynamische Instanzierung und Parametrisierung, wodurch die Nutzung von Mehrwegeprotokollen und deren inhärenter Fähigkeiten optimiert wird, um die Anforderungen der Anwendungen so weit wie möglich zu erfüllen. Ein solches Steuerprotokoll muss diese Funktionen durch Erkennung, Einrichtung und Informationsaustausch erleichtern, um robuste, skalierbare und sichere Multipath-Management-Lösungen zu liefern. Im Rahmen von 5G-RACOM wird ein Konzept für ein Multipath-Kontrollprotokoll entwickelt, dessen Implementierung jedoch nicht Bestandteil des Projekts ist.

5 Field experiments

The field study, encompassing testing and demonstration events, will take place at Deutsche Bahn AG's (DB) "Digitales Testfeld Bahn" testbed situated in the Ore Mountain region of eastern Germany (fig. 6). The testbed stretches over 25 kilometres of track in a rural and moderately hilly terrain and links the cities of Schwarzenberg and Annaberg-Buchholz. 5G coverage along the tracks is pro-

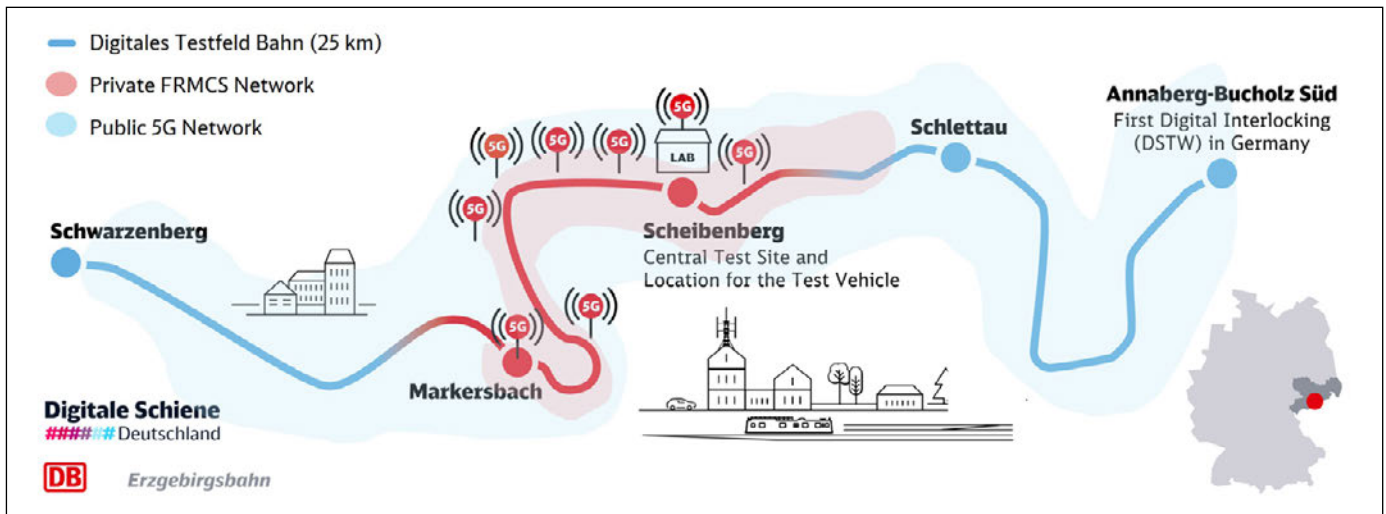


Bild 6: 5G-RACOM-Testumgebung im "Digitalen Testfeld Bahn", Erzgebirge / Deutschland
 Fig. 6: 5G-RACOM test environment at the "Digitales Testfeld Bahn", Ore Mountains / Germany

Quelle / Source: DB

birge stattfinden (Bild 6). Das Testfeld umfasst 25 Streckenkilometer zwischen den Städten Schwarzenberg und Annaberg-Buchholz und verläuft über leicht hügeliges Terrain. Entlang der Gleise wird die 5G-Abdeckung sowohl von der DB (IM 5G System) als auch von Vodafone (PMNO 5G System) bereitgestellt. Vodafone unterstützt die 5G-RACOM-Tests als Teil einer 5G-Forschungsinfrastruktur der Technischen Universität (TU) Chemnitz.

Die DB stellt ein privates 5G-SA-basiertes FRMCS-Netz bereit, das vorläufig auf 3,7 GHz (TDD-Band n78) betrieben wird und ca. 10 km der Teststrecke zwischen den Orten Schlettau und Markersbach abdeckt. Zum Zeitpunkt der geplanten Feldversuche werden noch keine Testgeräte im angestrebten FRMCS-Spektrum bei 900/1900 MHz verfügbar sein.

Die Chemnitz und Vodafone stellen eine öffentliche 5G-Netzabdeckung entlang der gesamten 25 km langen Teststrecke über mehrere Frequenzbänder bereit: 700 MHz (FDD-Band n28), 1800 MHz (FDD-Band n3) und 3400 MHz (TDD-Band n78). Das öffentliche Netz nutzt Edge-Core-Funktionen, um einen Teil des kommerziellen 5G-SA-Netzes von Vodafone als eigene Netzwerk-Slice zu betreiben.

Beide Netze werden von lokalen Rechenzentren aus betrieben, welche über Glasfaser miteinander verbunden sind und so Datenübertragungen mit geringer Latenz und hoher Kapazität gewährleisten. Im Rahmen des Projekts wird die hybride Netzumgebung mit einem MPF-Server von Kontron Transportation und mit Testlösungen der TU Ilmenau und TU Chemnitz erweitert, wobei der Schwerpunkt auf e2e-Leistungsmessungen liegt. Die Testzüge werden mit einem Onboard-Gateway einschl. MPF-Client von Funkwerk ausgestattet, um die Interoperabilität zwischen MPF-Client und MPF-Server von zwei verschiedenen Anbietern zu validieren.

Die Feldstudie wird sich sowohl auf die Funktionsprüfung als auch auf Leistungsmessungen konzentrieren, um die erwarteten Vorteile der Multipath-Funktionalität in hybriden FRMCS-Netzen zu validieren und einen Leistungsvergleich der verschiedenen Mehrwegeprotokolle für TCP- und UDP-basierten Verkehr durchzuführen.

6 Ausblick

Das Projekt 5G-RACOM ebnet den Weg für den zukünftigen Bahnfunk, indem es fortschrittliche 5G-Technologien und hybride FRMCS-Netze mit mehrwegefähigen Übertragungen einsetzt. Die

vided by both DB (an IM 5G System) and Vodafone (a PMNO 5G System). Vodafone supports the 5G-RACOM tests in its capacity as part of the Wireless Research Infrastructure of the Chemnitz Technical University (TU).

DB's deployment includes a private 5G, SA-based FRMCS network that is provisionally operated at 3.7 GHz (TDD band n78) and covers around 10 kilometres of the test track between the towns of Schlettau and Markersbach. Notably, radio equipment for test operations in the targeted FRMCS bands of 900/1900 MHz is not yet available at the time of the 5G-RACOM field experiments.

The Chemnitz TU and Vodafone provide public 5G network coverage along the entire 25-kilometer test track. This network operates across multiple frequency bands: 700 MHz (FDD band n28), 1800 MHz (FDD band n3) and 3400 MHz (TDD band n78). The public network utilises edge core functions to run a mobile private network (MPN) slice of Vodafone's commercial 5G SA network.

Both networks are operated from local data centres connected by optical fibre, thereby ensuring data transmissions with low latency and high capacity.

As part of the project, the hybrid network environment will be enhanced with an MPF Server provided by Kontron Transportation and with testing solutions provided by the Ilmenau TU and Chemnitz TU that focus on e2e-performance measurement. The test trains will be equipped with an Onboard Gateway, including an MPF Client provided by Funkwerk. The setup allows to validate the interoperability between the MPF client and the MPF server from two different vendors.

The field study will focus on both functional testing and performance measurement in order to validate the anticipated benefits of the multipath functionality in the hybrid FRMCS networks and to benchmark the performance of different multipath protocols for both TCP and UDP based traffic.

6 Outlook

The 5G-RACOM project aims to pave the way for the future of railway communications by leveraging advanced 5G technologies and hybrid FRMCS networks using multipath-enabled transmissions. Implementing multipath protocols is essential for achieving resilient, high-performance communication and service continuity. The project will continue with the

Einführung von Multipath-Protokollen ist für eine resiliente, leistungsstarke Kommunikation und die Kontinuität von Diensten sinnvoll. Das Projekt wird die Implementierung und Erprobung der definierten Lösung fortsetzen, wobei technische MPF-Fähigkeiten erforscht und weiterentwickelt werden, um verschiedene Anwendungsfälle zu unterstützen und die erfolgreiche Einführung und den Betrieb von FRMCS sicherzustellen. Die Erkenntnisse aus Feldtests sowie die konzeptionellen Arbeiten zur Definition von Mehrwege-Kontrollprotokollen werden das Verständnis für die zukünftige Entwicklung und Standardisierung von Eisenbahnkommunikationssystemen schärfen. 5G-RACOM hat bereits und wird weiterhin Architektur- und Protokollvorschläge in den FRMCS-Spezifikationsprozess der UIC und die ETSI-Standardisierungsgremien einbringen. ■

implementation and testing of the defined solution, exploring and refining the technical MPF capabilities to fully support diverse use cases and ensure the successful deployment and operation of FRMCS. The findings from the planned field tests and performance measurements, as well as the conceptual work on multipath control protocol definitions, will provide valuable insights for the future development and standardisation of railway communication systems. 5G-RACOM will propose selected results to UIC's FRMCS specification process and the related ETSI standards. ■

AUTOREN | AUTHORS

Tomas Karabinos

Senior Consultant
Bayerische Funknetz GmbH, im Auftrag von / on behalf of DB InfraGO AG
Anschrift / Address: Spinnereinsel 3a, D-83059 Kolbermoor
E-Mail: tomas.karabinos-extern@deutschebahn.com

Bernd Holfeld

Lead FRMCS, Digitale Schiene Deutschland
DB InfraGO AG
Anschrift / Address: EUREF-Campus 17, D-10829 Berlin
E-Mail: bernd.holfeld@deutschebahn.com

Richard Fritzsche

Lead Connectivity Platforms, Digitale Schiene Deutschland
DB InfraGO AG
Anschrift / Address: EUREF-Campus 17, D-10829 Berlin
E-Mail: richard.fritzsche@deutschebahn.com

Nico Alte

Project Lead System Development
Funkwerk Systems GmbH
Anschrift / Address: Im Funkwerk 5, D-99625 Köllda
E-Mail: nico.alte@funkwerk.com

Manfred Taferner

Mission Critical Networks Architect
Kontron Transportation
Anschrift / Address: Lehrbachgasse 11, A-1120 Wien
E-Mail: manfred.taferner@kontron.com

Shaik Muhammed Zubair Basha

Research Associate
Technische Universität Ilmenau
Anschrift / Address: Hans-Wehrach-Straße 1, D-98693 Ilmenau
E-Mail: zubair.shaik@tu-ilmenau.de

Klaus Moessner

Faculty of Electrical Engineering and Information Technology
Technische Universität Chemnitz
Anschrift / Address: Strasse der Nationen 62, D-09110 Chemnitz
E-Mail: klaus.moessner@etit.tu-chemnitz.de

Nour Chkeri

5G Core/MCx Research Manager
SNCF Réseau
Anschrift / Address: 6 Avenue François Mitterrand, F-93574 La Plaine St Denis Cedex
E-Mail: nour.chkeri@reseau.sncf.fr

LITERATUR | LITERATURE

- [1] Marsch, P.; Fritzsche, R.; Holfeld, B.; Kuo, F.-C.: "5G for the digital rail system of the future – the prospects for FRMCS", SIGNAL+DRAHT 3/2022
- [2] Mandoc, D.; Nikolopoulou, V.; Gogos, S.: "5GRAIL paves the way to the Future Railway Mobile Communication System (FRMCS)", World Congress on Railway Research, Birmingham/UK, June 2022
- [3] Commission Implementing Decision (EU) 2021/1730, Sept. 2021
- [4] Holfeld, B.; Fritzsche, R.; Karabinos, T. et al.: "The 5G-RACOM Project: 5G for Resilient and Green Rail Communications", Transport Research Arena (TRA), April 2024, Dublin
- [5] 5G-RACOM project grant agreement number: 01MJ22015, project website: <https://franco-german-5g-ecosystem.eu/5g-racom/>

safety on tracks

SCHWEIZER ELECTRONIC
60 JAHRE . YEARS . ANNÉES . ANNI

Besuchen Sie uns -
Halle 2.2 Stand 250

- Warnanlagen
- Bahnübergänge
- Funksysteme
- Innovation & Digitalisierung

schweizer-electronic.com

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



Geegründet 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

AZD Praha s.r.o., Praha	63
Bayka AG, Roth	61
BBL Bahnbau Lüneburg, Lüneburg	75
DVV Media Group GmbH, Hamburg	57, 77, 83, 105, U3
EAO GmbH, Essen	9
EBE Solutions GmbH, Wien	59
ESA Elektroschaltanlagen Grimma GmbH, Grimma	37
Frauscher Sensorik GmbH, St. Marienkirchen	93
Funkwerk Systems GmbH, Kölldeda	U2
HIMA GmbH, Brühl	71
Kombud Group S.A., Radom	13, 15, 17
Kontron Transportation GmbH, Wien	33
M2C Expert Control GmbH, Offenburg	65
Nextrail GmbH, Frankfurt	85
Pliz GmbH & Co. KG, Ostfildern	35
Pintsch GmbH, Dinslaken	45
Powerlines GmbH, Wohlersdorf	101
ProVI GmbH, München	47
PSI Transcom GmbH, Berlin	9
Railcomplete AS, Lysaker	7
RDCS Informationstechnologie GmbH, Wien	53
SafeTrail GmbH, Saarbrücken	87
Scheidt & Bachmann Signalling Systems GmbH	55
Schweizer Electronic AG, Reiden	113
Siemens Mobility, München	19
Signalling Solutions d.o.o., Belgrad	10
Telent GmbH, Backnang	39
Voestalpine Signalling Austria GmbH, Zeltweg	44
Wago GmbH & Co. KG, Minden	25

In dieser Ausgabe finden Sie Beilagen der Bauakademie Biberach und der DVV Media Group GmbH, Hamburg. Wir bitten um freundliche Beachtung.
In this issue you will find supplements of Bauakademie Biberach and DVV Media Group GmbH, Hamburg. We kindly ask for your attention.

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.

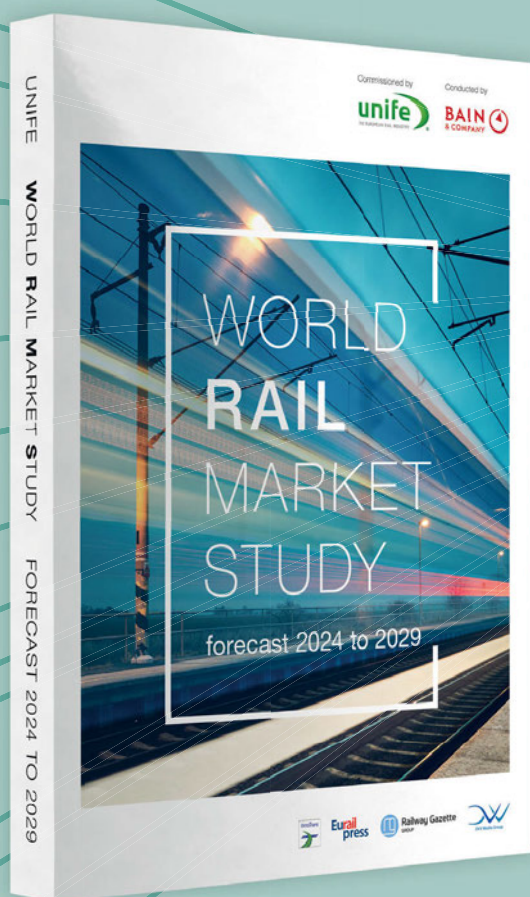
www.eurailpress.de/sd
ISSN 0037-4997



WORLD RAIL MARKET STUDY

10th edition | forecast 2024 to 2029

New –
preorder
now!



**Commissioned by UNIFE,
conducted by Bain & Company
and published by DVV |
Eurailpress | Railway Gazette**

The 10th edition of the UNIFE World Rail Market Study offers a detailed analysis of the current state and development of the global rail supply market.

The 2024 edition of the study examines 66 countries which account for 99 % of global rail traffic and the full rail supply value chain, including infrastructure, rail control, rolling stock, services, and turnkey management.

The largest study of its kind – Preorder this unique insight to the world rail market right now!

More information and reading sample at
www.eurailpress.de/2024-study

Contact: DV Media Group GmbH | Eurailpress

E-Mail: service@eurailpress.de

Phone: +49 40 237 14-260

Commissioned by



Conducted by



Besuchen Sie uns auf der:

**INNOTRANS
2024**

**24.-27. September 2024
Messe Berlin, Deutschland**

**voestalpine Railway Systems
Halle 21b | Stand 150**

zentrak CONNECTING EVERYTHING

**The intelligent, conscious and
living railway ecosystem**

Die voestalpine Signaling Gruppe bietet innovative Antriebs-, Verschluss- und Überwachungseinrichtungen sowie Signaltechnikanlagen für alle Arten von Eisenbahnweichen an. Zusammen mit maßgeschneiderten Lösungen im Bereich Diagnose- und Monitoringtechnologie sowie Achszählssystemen ermöglichen wir eine nachhaltige Leistungsoptimierung Ihrer Eisenbahninfrastruktur und Flotte. Durch intelligente digitale Lösungen schaffen wir die Basis für modernes Fahrwegmanagement im Sinne unseres Markenversprechens: „Performance on Track®“.



Für weitere
Informationen
scannen



Auf dem Weg

zur Klimaneutralität

Expertenmedium für Energie-Verantwortliche in der Industrie

JETZT 4 WOCHEN

UNVERBINDLICH TESTEN!

energy.prime ist das Informationsangebot für Energieverantwortliche in der produzierenden Industrie. In einem Segment, in dem das Hintergrundrauschen immer lauter wird, fasst energy.prime zusammen, was wirklich wichtig ist.

energy
prime
EMPOWER NET ZERO INDUSTRY

part of **INDUSTRY.FORWARD**

Jetzt testen: www.energy-prime.de/energy-abo