

MORANE-2: Der finale Validierungsschritt für FRMCS Edition 1

MORANE-2: The final validation step towards the 1st edition of FRMCS

Bernd Holfeld | Patrick Ruhrig

Das Leuchtturmprojekt FP2-MORANE-2 (Flagship Project 2 – Mobile radio for Railway Networks in Europe 2), gefördert im Rahmen des Horizon Europe Programms der EU, ist gestartet, um Funktionen und technologische Komponenten des Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) zu testen. Die mehrstufigen Tests werden in drei Labor- und fünf Feldtestumgebungen in ganz Europa stattfinden. Die realen Versuchsbedingungen, welche konventionelle sowie Hochgeschwindigkeitsstrecken einschließen, und das umfassende Fachwissen des Konsortiums aus europäischen Eisenbahninfrastrukturunternehmen, Anbietern und Lieferanten von Telekommunikationslösungen, Mobilfunknetzbetreibern sowie dem Verband der Eisenbahnzulieferindustrie UNIFE und dem internationalen Eisenbahnverband UIC werden sicherstellen, dass das Projekt marktreife Spezifikationen für die Überarbeitung der TSI CCS im Jahr 2027 hervorbringen kann. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über das gesamte Validierungsprojekt und stellt die in Deutschland geplanten Testszenarien vor, die auf der Erprobungsstrecke „Digitales Testfeld Bahn“ der Deutschen Bahn AG (DB) im Erzgebirge durchgeführt werden.

1 Future Railway Mobile Communication System

Das 2G-basierte Bahnfunksystem GSM-R wird in den 2030er Jahren obsolet und vom 5G-basierten FRMCS-Standard ersetzt, das derzeit auf europäischer Ebene entwickelt wird [1, 2]. Das FRMCS spielt eine Schlüsselrolle bei der Modernisierung, Digitalisierung und Automatisierung des Bahnbetriebs. Es wird angetrieben durch den Bedarf an einer verbesserten, leistungsfähigen Konnektivität, einer zukunftssicheren und langfristigen Telekommunikationslösung, einer verbesserten Interoperabilität sowie mehr Flexibilität zur Unterstützung der steigenden Kapazitätsanforderungen im künftigen Schienenverkehr.

FRMCS wird bestehende bahnbetriebliche Sprachanwendungen wie Punkt-zu-Punkt-Anrufe, Gruppenanrufe oder den Eisenbahn-Notruf (Railway Emergency Call – REC) sowie Datendienste wie das Europäische Zugbeeinflussungssystem (ETCS) und den automatisierten Fahrbetrieb (ATO) unterstützen. Perspektivisch wird es eine Reihe zusätzlicher Anwendungen ermöglichen, darunter das Train Control and Management System (TCMS), das Fahrgastinformationssystem (Passenger Information System – PIS), neue betriebliche Videodienste und andere wichtige Datenkommunikationsdienste.

Die erweiterten Konnektivitätsmerkmale von FRMCS werden höhere Datenraten, kürzere Signallaufzeiten und eine höhere Zuverlässigkeit für die Anwendungen ermöglichen. Darüber hinaus wird der neue Bahnkommunikationsstandard eine grundle-

The Horizon Europe project FP2-MORANE-2 (Flagship Project 2 – Mobile radio for Railway Networks in Europe 2) has started its work on testing the technological features and components of the Future Railway Mobile Communication System (FRMCS). Testing will take place in several stages, using three laboratory environments and five field test areas throughout Europe, which include both conventional and high-speed tracks. The real-world test conditions and the broad expertise of the consortium of European railway infrastructure managers, telecom vendors, mobile network operators, the UNIFE rail supply industry association and the UIC international railway union will ensure that the project can foster market-ready specifications for the CCS TSI revision in 2027. This article introduces the overall validation project and focuses on test scenarios planned for the German field which will take place on Deutsche Bahn AG's (DB) "Digitales Testfeld Bahn" test line in the Ore Mountains.

1 Future Railway Mobile Communication System

The 2G-based railway mobile communication system, GSM-R, will become obsolete in the 2030s. It will be replaced with the 5G-based FRMCS which is currently under development at the European level [1, 2]. FRMCS will play a key role in the modernisation, digitalisation and automation of railway operations. It is driven by the need for improved connectivity and performance, enhanced interoperability, future-proofing to ensure long-term viability, and flexibility in order to efficiently support the increasing capacity-demands of future rail transport services.

FRMCS will support existing voice applications such as point-to-point calls, group calls or the railway emergency call (REC), as well as data services such as the European Train Control System (ETCS) and Automatic Train Operation (ATO). Moreover, it will also facilitate a range of additional applications in the long term, including the Train Control and Management System (TCMS), the Passenger Information System (PIS), new operational video services and other essential data communication services.

The advanced connectivity features in FRMCS will allow higher data rates, shorter signal propagation times and higher reliability for the applications. In addition, the new railway communication standard will enable a fundamentally new architecture compared to its GSM-R predecessor: FRMCS provides for separating the transmission and application layers in order to remain

gend neue Architektur im Vergleich zu seinem Vorgänger GSM-R ermöglichen: FRMCS sieht die Trennung von Übertragungs- und Anwendungsschicht vor, um mit künftigen Entwicklungen im Bereich des Mobilfunks kompatibel zu bleiben und fundamentale Anpassungen innerhalb der Anwendungen zu vermeiden. Die Übertragungsschicht setzt sich technisch aus den folgenden zwei Schichten zusammen [3, 4]:

- FRMCS Transport Stratum: Eine Zusammenstellung von Funkzugangsnetz (Radio Access Network – RAN) und Kernnetzfunktionen, die zur Bereitstellung von Datenkonnektivität, z. B. via 5G Standalone (5G SA), für das FRMCS-System anwendbar sind.
- FRMCS Service Stratum: Kommunikationsdienste und ergänzende Dienste, die sich aus dem 3GPP Mission Critical Services (MCX) Framework und dem 3GPP Multimedia System ergeben (3GPP – 3rd Generation Partnership Project).

Die Spezifikation von FRMCS-Systemaspekten, -Architekturen, -Schnittstellen, -Funktionen und -Verfahren wird sowohl von der UIC vorangetrieben, die sich mit der Anforderungsspezifikation befasst, als auch vom Technischen Komitee für Eisenbahntelekkommunikation (TC-RT) innerhalb von ETSI (Europäisches Institut für Telekommunikationsnormen), das die technischen Spezifikationsdokumente entwickelt und den technischen Standard definiert. Beide Aktivitäten werden kontinuierlich mit den Gremien der 3GPP koordiniert, z. B. durch eine 3GPP-Taskforce, und auch mit der Eisenbahnagentur der Europäischen Union (ERA).

Die FRMCS-Anforderungsspezifikation der UIC folgt einem stufenweisen Ansatz:

- Die Version V1 der Anforderungen wurde im Februar 2023 veröffentlicht und diente als rechtlicher Anker für die Einführung von FRMCS in der Technischen Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) 2023 der Zugsicherung, Zugsteuerung und Signalgebung (CCS). Das Horizon 2020 Projekt 5GRAIL, das von 11/2020 bis 12/2023 lief, diente als Vorvalidierungsprojekt für FRMCS V1, indem es erste FRMCS-Prototypen entwickelte und analysierte [5].
- Die Version V2 wurde im Dezember 2024 veröffentlicht. Sie gilt als technische Grundlage für frühe FRMCS-Pilotlinien und als Wegbereiter für Validierungsaktivitäten. Das Schlüsselprojekt zur Validierung von FRMCS V2 wird das Horizon Europe Projekt FP2-MORANE-2 sein, das von 12/2024 bis 09/2027 im Rahmen des Europe's Rail Joint Undertaking (EU-Rail) läuft (siehe Abschnitt 2).
- Die Version V3 ist für das dritte Quartal 2027 geplant und soll offiziell als „FRMCS 1st Edition“ veröffentlicht werden, welche erste marktreife Produkte ermöglicht. Die erste Edition muss mindestens alle für den GSM-R-Ersatz erforderlichen Funktionen ermöglichen, d. h. einen gleichwertigen Betrieb wie bei GSM-R. Sie wird als Beitrag zur TSI CCS Revision im Jahr 2027 dienen und die Grundlage sein für die nationalen FRMCS-Rolloutaktivitäten der Eisenbahninfrastrukturmanager (EIM) bei ihren Bestrebungen, GSM-R-Technik abzulösen (Bild 1).

Die in die TSI CCS aufzunehmenden Anforderungsspezifikationen umfassen fünf Dokumente (Bild 2). Diese sind die:

- FRMCS FRS (FRMCS Functional Requirements Specification)
- TOBA FRS (Telecom On-Board Architecture Functional Requirements Specification)
- FRMCS SRS (FRMCS System Requirements Specification)
- FRMCS FIS (FRMCS Functional Interface Specification)
- FRMCS FFFIS (FRMCS Form Fit Functional Interface Specification) [6].

ETSI TC-RT wird voraussichtlich bis Mitte 2025 einen ersten Satz von FRMCS-Technikspezifikationen vorlegen. Sie werden die

compatible with any future developments in the field of mobile radio while avoiding any changes in the applications. The transmission layer is technically composed of the following two strata [3, 4]:

- the FRMCS transport stratum: a set of radio access network (RAN) functions and corresponding core functions applicable to the provision of data connectivity, e.g. 5G Standalone (5G SA), for the FRMCS system.
- the FRMCS service stratum: a set of communication services and corresponding complementary services resulting from the 3GPP Mission Critical Services (MCX) framework and the 3GPP multimedia system (3GPP – 3rd Generation Partnership Project).

The specification of the FRMCS system aspects, architectures, interfaces, functions and procedures is being driven forward by the UIC in the area of the requirement specification and the Technical Committee for Railway Telecommunications (TC-RT) within ETSI (European Telecommunications Standards Institute), which is developing the technical specification documents that define the technical standard. Both activities are well coordinated with bodies from 3GPP, e.g. by a 3GPP task force, and with the European Union Agency for Railways (ERA).

The UIC's FRMCS requirement specification follows a staged approach:

- Version V1 of the requirements was published in February 2023 and provided a legal anchor for the introduction of FRMCS to the Control Command and Signalling (CCS) Technical Specification for Interoperability (TSI) 2023. The Horizon 2020 5GRAIL project, which ran from 11/2020 to 12/2023, served as a pre-validation project for FRMCS V1 by developing and analysing the first FRMCS prototypes [5].
- Version V2 of the requirements was published in December 2024. It is considered the technical basis for early FRMCS pilot lines and as enabler for validation activities. The key FRMCS V2 validation project will be the Horizon Europe FP2-MORANE-2 project, which will run from 12/2024 to 09/2027 under the Europe's Rail Joint Undertaking (EU-Rail) framework (see section 2).
- Version V3 of the requirements is planned for the third quarter of 2027 and will be officially published as the “FRMCS 1st Edition” allowing the first market-ready products. At the very least, the first edition will enable all the necessary functions for the replacement of GSM-R, i.e. equivalent operations as with GSM-R. It will serve as an input to the CCS TSI revision in 2027 and as the basis for FRMCS tender activities undertaken by the infrastructure managers (IMs) at the national level as part of their efforts to substitute GSM-R (fig. 1).

The set of requirement specifications to be included in the CCS TSI covers five documents (fig. 2). These are the:

- FRMCS FRS (the FRMCS Functional Requirement Specification)
- TOBA FRS (the Telecom On-Board Architecture Functional Requirement Specification)
- FRMCS SRS (the FRMCS System Requirement Specification)
- FRMCS FIS (the FRMCS Functional Interface Specification)
- FRMCS FFFIS (the FRMCS Form Fit Functional Interface Specification) [6].

ETSI TC-RT is expected to deliver the first set of FRMCS technical specifications by mid-2025. This will include the FRMCS system architecture (TS 103 764), the FRMCS building blocks and functions (TS 103 765-1 to TS 103 765-5), the FRMCS/GSM-R interworking (TS 103 792) and the FRMCS radio characteris-

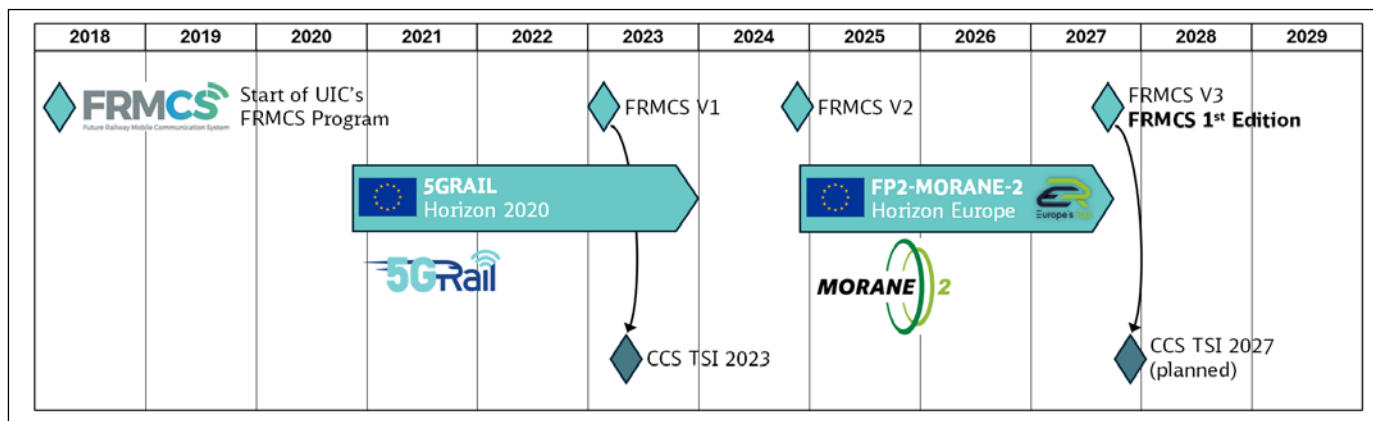


Bild 1: Der Weg zur FRMCS 1st Edition

Fig. 1: A path towards the FRMCS 1st edition

Quelle / Source: DB

FRMCS-Systemarchitektur (TS 103 764), die FRMCS-Bausteine und -Funktionen (TS 103 765-1 bis TS 103 765-5), das FRMCS/GSM-R-Interworking (TS 103 792) und die FRMCS-Radiocharakteristiken (TS 103 793) umfassen [7]. Diese Spezifikationen aggregieren relevante 3GPP-Standards und beschreiben zusätzliche Bausteine und technische Verfahren, die nicht von 3GPP abgedeckt werden. Über die Arbeit an FRMCS-Spezifikationen hinaus befasst sich ECC CEPT (Electronic Communications Committee in der European Conference of Postal and Telecommunications Administration) mit der FRMCS-Spektrumregulierung. Auf Basis der ECC-Entscheidung (20)02 vom November 2020 wurden zwei Railway-Mobile-Radio (RMR)-Frequenzbänder für die FRMCS-Einführung in Europa zugewiesen [8, 9]. Es handelt sich um das 5G New Radio (5G NR) Band N100 mit 2 x 5,6 MHz Bandbreite im gepaarten 900 MHz Frequency Division Duplex (FDD) Spektrum und das 5G

tics (TS 103 793) [7]. These specifications will be based on the aggregation of relevant 3GPP standards plus additional building blocks and technical procedures that are not covered by 3GPP. In addition to the specification work, the ECC CEPT (Electronic Communications Committee in the European Conference of Postal and Telecommunications Administration) covers the FRMCS spectrum regulation domain. Two railway mobile radio (RMR) frequency bands have been allocated for FRMCS deployment in Europe based on ECC Decision (20)02 of November 2020 [8, 9]. These are the 5G New Radio (5G NR) N100 band with a 2 x 5.6 MHz bandwidth in a paired 900 MHz Frequency Division Duplex (FDD) spectrum and the 5G NR N101 band with a 10 MHz bandwidth in 1900 MHz Time Division Duplex (TDD). The sending and receipt of signals to and from a train is divided into time slots in the TDD regime, while the signals to

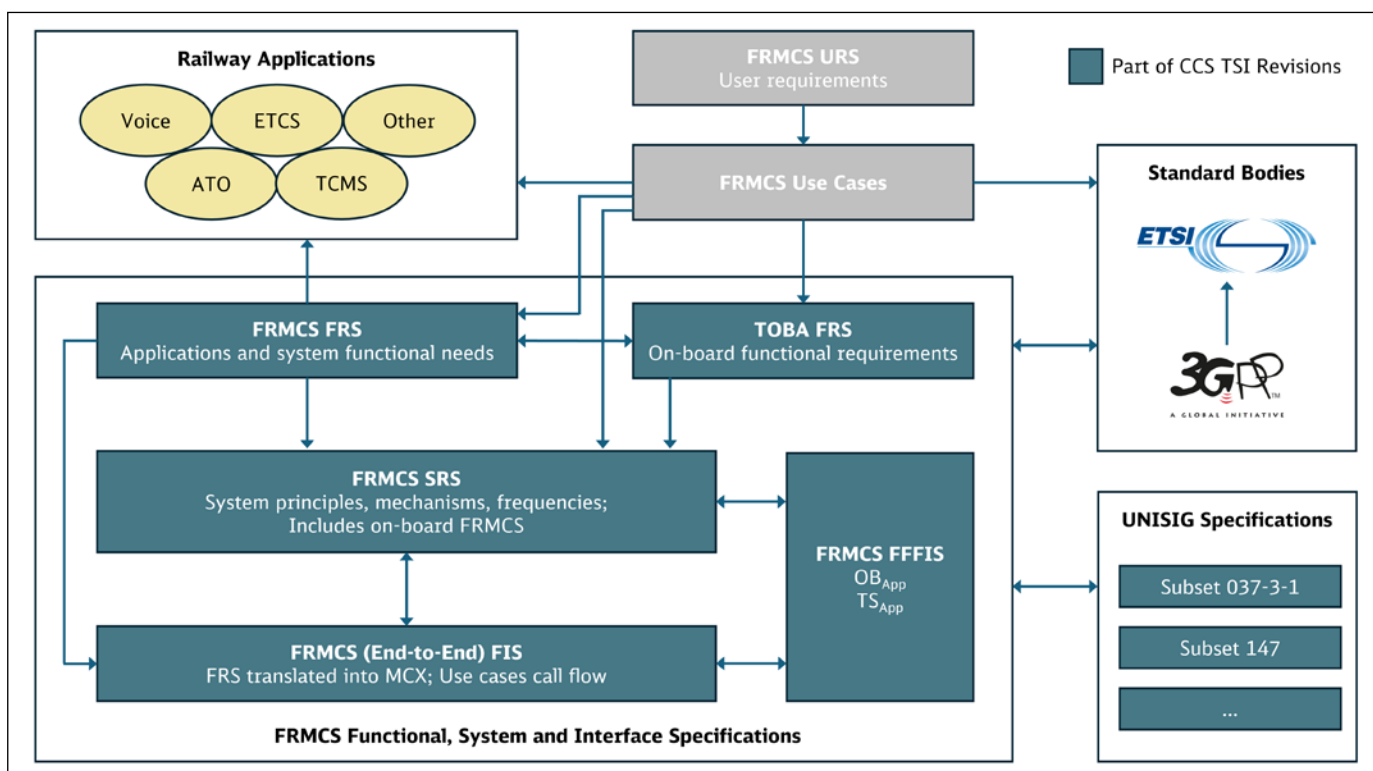


Bild 2: Überblick über FRMCS-Spezifikationen mit TSI CCS-Relevanz

Fig. 2: An overview of the FRMCS specifications relevant to the CCS TSI Revisions

Quelle / Source: UIC

NR Band N101 mit 10 MHz Bandbreite im 1900 MHz Time Division Duplex (TDD). Im TDD-Regime ist das Senden und Empfangen von Signalen zum / vom Zug über Zeitschlitzte im selben Band aufgeteilt, während im FDD-Regime die Signale zum / vom Zug über Frequenzbereiche aufgeteilt sind.

Für die Koordinierung von FRMCS-Deployments und FRMCS-Migration hat Europe's Rail (EU-Rail) im Jahr 2024 eine FRMCS-Untergruppe innerhalb der EU-Rail High-Level Deployment Group eingerichtet [10]. Ihr Ziel ist es, aktuelle Umsetzungspläne sowie Herausforderungen zu bewerten und Empfehlungen für EU-Mitgliedsstaaten, Eisenbahnbetreiber und betroffene Organisationen zu geben, um eine reibungslose Einführung zu ermöglichen, sich mit den breiteren technischen Entwicklungen im Rahmen des Europäischen Rail Traffic Management System (ERTMS) abzustimmen und eine Angleichung der Migrationsstrategien zu erreichen.

2 Überblick über das MORANE-2-Projekt

Die Einführung von FRMCS als neues Funksystem für den Eisenbahnbetrieb in Europa erfordert umfangreiche Testaktivitäten, um die Spezifikationsdokumente zu validieren. Zur Förderung dieses Prozesses hat die Europäische Kommission (EC) im Rahmen des Horizon-Europe-Programms in einer Zusammenarbeit der beiden Initiativen Europe's Rail (EU-Rail) und European Smart Networks and Services (SNS) Zuschüsse in Höhe von 13,5 Mio. EUR bereitgestellt. Die Zuschüsse wurden dem Konsortium FP2-MORANE-2 gewährt [11]. Ziel des Konsortiums ist die Überprüfung, Vervollständigung und Änderung der neuesten FRMCS V2-Spezifikationen sowie der frühen V3-Zielanforderungen auf dem Weg zur Fertigstellung der „FRMCS 1st Edition“ und zur Lieferung von Beiträgen für die nächste TSI CCS Version im Jahr 2027, siehe Abschnitt 1. Der Name des Konsortiums leitet sich vom Vorgängerprojekt MORANE ab, das vor der Einführung von GSM-R vor mehr als 20 Jahren ähnliche Testaktivitäten durchführte.

MORANE-2 wird von der UIC koordiniert. Das Projektkonsortium bringt wichtige Akteure des Sektors zusammen, darunter europäische Bahnen und Infrastrukturbetreiber, Anbieter von Telekommunikationslösungen und Netzbetreiber sowie UNIFE als Verband der Eisenbahnzulieferindustrie. Die Liste der 21 Förderbegünstigten des Projekts sind in Tab. 1 aufgelistet [11].

Darüber hinaus ist eine Gruppe von sieben weiteren EIM – Bane danmark, Bane Nor, Infrabel, Network Rail, RFI, SBB und Västläravirasto – als assoziierte Partner beteiligt, was das starke Interesse an den Projektergebnissen unterstreicht.

MORANE-2 läuft über einen Zeitraum von 34 Monaten von Dezember 2024 bis September 2027. Es gliedert sich in verschiedene Entwicklungs- und Validierungsphasen. Auf die Arbeiten zu Testdesign und Testplanung (Arbeitspaket 1) folgt die Entwicklung und Optimierung von FRMCS-Funktionen und -Systemkomponenten (Arbeitspaket 2), bevor die Validierung in Laboren (Arbeitspaket 3) und schließlich unter Realbedingungen in europäischen Feldumgebungen (Arbeitspaket 4) stattfindet.

Die Labortests werden in den Testzentren der 5G-Transportnetzanbieter Ericsson, Nokia und Kontron stattfinden. Die Feldvalidierung wird auf fünf Teststrecken von vier Eisenbahninfrastrukturbetreibern durchgeführt: ADIF (Spanien), DB InfraGO/DB (Deutschland), ProRail (Niederlande) und Trafikverket (Schweden) [12] (Bild 3):

- Die konventionelle Teststrecke Spanien wird sich auf grundlegende FRMCS-Funktionen und Systemleistungstests sowie auf die Übertragung zwischen FRMCS 900 MHz (5G-Band N100) und FRMCS 1900 MHz (5G-Band N101) Funknetzen von einem Anbieter konzentrieren.

and from the train are divided in the frequency domain in the FDD regime.

In 2024, Europe's Rail (EU-Rail) established an FRMCS subgroup within the EU-Rail High-Level Deployment Group to work on the coordination of FRMCS deployment and migration [10]. It aims to assess the current implementation plans and constraints and to provide recommendations for EU member states, railway operators and concerned organisations so as to facilitate smoother implementation and coordinate with the wider technical developments under the scope of the European Rail Traffic Management System (ERTMS), as well as to achieve alignment on migration strategies.

2 About the MORANE-2 Project

The introduction of FRMCS as the new radio communication system for railway operations in Europe requires comprehensive test activities in order to validate the specification documents. The European Commission (EC) has provided grant funding at the amount of 13.5 million EUR to facilitate the process via the Horizon Europe program in a joint call made by both the Europe's Rail (EU-Rail) and the European Smart Networks and Services (SNS) joint undertakings. Grants have been awarded to the FP2-MORANE-2 consortium [11]. Its objective is to verify, complete and amend the latest FRMCS V2 specifications as well as any early V3 target requirements on the path towards concluding the “FRMCS 1st Edition” and towards delivering the input for the next CCS TSI version in 2027: see section 1. The consortium name has been derived from the MORANE predecessor project which undertook similar test activities prior to the introduction of GSM-R more than 20 years ago.

MORANE-2 is coordinated by the UIC. The project consortium brings together key players from the sector, including European railways and infrastructure managers (IMs), telecom vendors and network providers and UNIFE as the rail supply industry association. The list of the 21 beneficiaries of the project is shown in tab. 1 [11].

In addition, a group of seven further railway IMs (Banedanmark, Bane Nor, Infrabel, Network Rail, RFI, SBB and Västläravirasto) is participating in the role of associated partners which underlines the strong interest in the project's results.

MORANE-2 will run over a period of 34 months from December 2024 to September 2027. It has been structured in different development and validation phases. The work on the test design and planning of the functional and performance trials (Work Package 1) will be followed by the development and optimisation of the FRMCS functions and system components (Work

ADIF	Alstom
CAF	Deutsche Bahn AG/DB InfraGO
Ericsson	Eviden
Frequentis	Funkwerk Systems
Hitachi Rail GTS	KPN
Kontron Transportation	Nokia Solutions and Networks
ProRail	RideOn Track
Siemens Mobility	Telia
Teltronic	Trafikverket
UIC	UNIFE
Viavi Solutions	

Tab. 1: Liste der 21 Förderbegünstigten des Projektes

Tab. 1: List of the 21 beneficiaries of the project

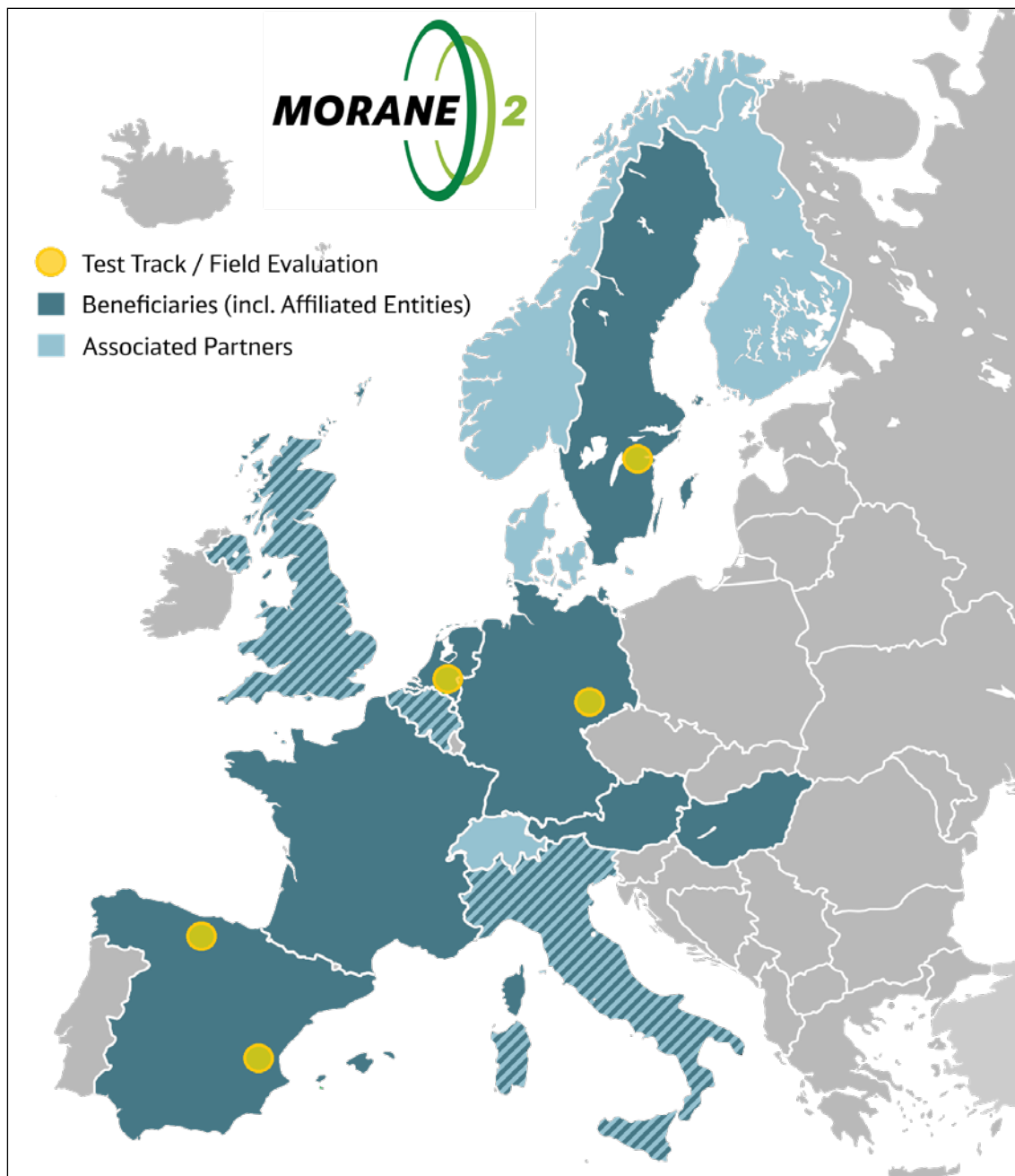


Bild 3: Teilnehmerkreis im FP2-MORANE-2-Projekt

Fig. 3: An overview of the participants in the FP2-MORANE-2 Project

Quelle / Source: DB

- Die Hochgeschwindigkeitsstrecke Spanien wird FRMCS-Leistungs- und Funktionstests unter Hochgeschwindigkeitsbedingungen mit bis zu 300 km/h behandeln.
- Die Teststrecke Deutschland wird FRMCS 1900 MHz (5G-Band N101) basierte Grenzübergangsszenarien sowie FRMCS / GSM-R Interworking (Sprachanwendungen) und FRMCS / GSM-R Netzübergang (Datenanwendungen) untersuchen.
- Die Teststrecke Niederlande wird die Multipath-Funktionalität in einem hybriden FRMCS-Netz bewerten, in dem Übertragungen über einen öffentlichen Mobilfunknetzbetreiber (Public Mobile Network Operator – PMNO) die FRMCS-Konnektivität ergänzen.
- Die Teststrecke Schweden wird grundlegende FRMCS-Funktionen und Systemleistungstests sowie die Zusammenschaltung von PMNO- und FRMCS-Netzen über das MOCN-Konzept (Multioperator Core Networks) abdecken.

Die MORANE-2-Testaktivitäten mit verschiedenen Erprobungsschwerpunkten sollen die vorab spezifizierten Telekommunikations-

Package 2) before validation takes place in the labs (Work Package 3) and in European field environments under real-world conditions (Work Package 4).

Lab test activities will be performed at the test centres of the 5G transport network vendors Ericsson, Nokia and Kontron. Field testing will be organised on five tracks from four railway infrastructure operators: ADIF (Spain), DB InfraGO / Deutsche Bahn (Germany), ProRail (the Netherlands) and Trafikverket (Sweden) [12] (fig. 3):

- The conventional test track in Spain will focus on basic FRMCS functionalities and system performance tests, as well as the transfer between the FRMCS 900 MHz (5G band N100) and FRMCS 1900 MHz (5G band N101) radio networks from one provider.
- The high-speed line in Spain will focus on FRMCS performance and feature tests under high velocity conditions up to 300 km/h.

tionselemente für eine zukunftssichere Ende-zu-Ende-FRMCS-Architektur verifizieren und etwaige Implementierungslücken schließen. Zu den wesentlichen Architekturkomponenten in FRMCS gehören das 5G SA-System mit Elementen aus Funkzugangsnetz (RAN) und Kernnetz, eine FRMCS-Service-Umgebung mit IP Multimedia Subsystem (IMS)/Session Initiation Protocol (SIP)-Core und MCX-Funktionen, der Tracside-Gateway (TS GW), die Telecom On-Board Architecture (TOBA)-Ausrüstung mit On-Board Gateway (OB GW) und FRMCS-Radiomodul, die Kabinenfunkausrüstung (Cab Radio) zum Betrieb der Voice-Application-Subsystem (VAS)-Funktionen, die Dispatcher-Geräte sowie Lösungen zur Funktionsüberwachung und Performancemonitoring im FRMCS-System und den Anwendungen. Im Rahmen des Projekts sind Performancemessungen zur Bewertung von Quality-of-Service-Garantien geplant.

Neben der Gruppe der Sprachanwendungen, welche die privaten Anrufe zwischen Lokführern und Leitstellen, die Gruppenanrufe oder den Eisenbahn-Notruf (REC) umfasst, werden in MORANE-2 die Datenapplikationen ETCS, ATO und TCMS über Simulations- bzw. Emulationsplattformen getestet, die mit FRMCS-Schnittstellen kompatibel sind. Auch die Kombination von Sprach- und Datenanwendungen und Einsatzszenarien mit einer Priorisierung von Anwendungen sollen erprobt werden.

Zum funktionalen Testumfang gehören weiterhin Services wie Location and Positioning (bspw. für REC), Zeitstempeldienste und Interoperabilität zwischen verschiedenen FRMCS-Komponenten und Domänen. Ferner wird MORANE-2 – wie in den Details der Teststrecken genannt – den Übergang zwischen verschiedenen FRMCS-Domänen, der im Kontext der Kommunikation bei Grenzübertritten vorkommt, validieren. Ebenso im Umfang enthalten sind die FRMCS/GSM-R-Interworking-Funktionalität bei Sprachanwendungen und FRMCS/GSM-R-Netzübergänge bei Datenanwendungen, für welche bei ETCS u. a. eine Koordinierungsfunktion zur Netzauswahl zum Einsatz kommt. Die Betrachtung von Multipath-Konzepten für eine nahtlose und robuste Kommunikation unter Nutzung von PMNO-Übertragungspfaden in Ergänzung zu FRMCS sowie die Betrachtung von Cybersecurity-Aspekten runden die FRMCS-Implementierung im Rahmen dieses Projekts mit dem Ziel der GSM-R-Ablösung ab.

3 Validierungsfokus im MORANE-2-Testfeld in Deutschland

Wie in Abschnitt 2 eingeführt, konzentrieren sich die Validierungsaktivitäten im MORANE-2-Testfeld in Deutschland auf die Prüfung der FRMCS-Spezifikationen in Bezug auf Servicekontinuität bei Übergängen zwischen FRMCS-Domänen, insb. bei grenzüberschreitenden Szenarien zwischen zwei FRMCS-Netzdomänen (A und B) sowie beim Wechsel zwischen FRMCS- und GSM-R-Netzen. Um dies für realistische Anwendungsgebiete zu testen, werden im Kontext der Erprobung in Deutschland Sprachdienste und die Datenanwendungen ETCS und ATO bereitgestellt.

Die Testszenarien für grenzüberschreitende Kommunikation umfassen:

- Übergänge zwischen FRMCS-Domänen auf Transportebene
- Übergänge zwischen FRMCS-Domänen auf Serviceebene, unter Einbeziehung von IMS/SIP und einschließlich der Migration von MCX-Diensten
- „Ein-Modem-Ansatz“ (ein 5G-Endgerät) für Domänenübergänge von Sprachdiensten
- „Zwei-Modem-Ansatz“ (zwei 5G-Endgeräte) für Domänenübergänge von Datenanwendungen wie ETCS und ATO.

Für die Interworking- und Netzübergangstests zwischen FRMCS und GSM-R-Netzwerken werden folgende Aspekte geprüft:

- The test track in Germany will study FRMCS 1900 MHz (5G band N101) based border-crossing scenarios, as well as FRMCS/GSM-R interworking (voice applications) and transition (data applications).
- The test track in the Netherlands will assess multipath functionality in a hybrid FRMCS network where transmissions via a public mobile network operator (PMNO) complement the FRMCS connectivity.
- The test track in Sweden will cover basic FRMCS functionalities and system performance tests, as well as the interconnection of PMNO and FRMCS networks using the MOCN (multi-operator core networks) concept.

The MORANE-2 trial activities with various test focuses are intended to verify the specified telecommunication elements for a future-proof end-to-end FRMCS architecture and to close any implementation gaps. The main architecture components in FRMCS include the 5G SA system with the radio access network (RAN) and core network elements, an FRMCS service environment with IP Multimedia Subsystem (IMS)/Session Initiation Protocol (SIP) core and MCX functions, the Tracside Gateway (TS GW), the Telecom On-Board Architecture (TOBA) equipment with On-Board Gateway (OB GW) and FRMCS radio module, the Cab Radio equipment for operating the Voice Application Subsystem (VAS) functions, the dispatcher devices and solutions for function and performance monitoring in the FRMCS system and the applications. Performance measurements are planned as part of the project to evaluate the quality-of-service guarantees.

In addition to the group of voice applications, which includes private calls between train drivers and controllers, group calls or the REC call, the ETCS, ATO and TCMS data applications will also be tested in MORANE-2 using simulation and emulation platforms that are compatible with FRMCS interfaces. The combination of voice and data applications and scenarios with application prioritisation will also be studied.

Furthermore, the functional validation will include services such as location and positioning (e.g. for REC), timestamp services and interoperability between different FRMCS components and domains. As mentioned in the details of the test tracks, MORANE-2 will study inter-FRMCS domain transition, which occurs within the context of cross-border communication scenarios, the FRMCS/GSM-R interworking functionality for voice applications and FRMCS/GSM-R network transitions for data applications, for which ETCS uses a coordination function to select networks. The consideration of multipath concepts for seamless and robust communication using PMNO transmission paths in addition to FRMCS, as well as the consideration of cybersecurity aspects will complete the FRMCS implementation scope of this project with the aim of replacing GSM-R.

3 The validation scope of the MORANE-2 test track in Germany

As introduced in section 2, the validation activities at the MORANE-2 test track in Germany will focus on testing the FRMCS specifications with regard to service continuity in transition scenarios between FRMCS domains, in particular at border crossings between two FRMCS network domains (A and B) and when switching between FRMCS and GSM-R networks. In order to test this for realistic use cases, voice services and the ETCS and ATO data applications will be provided within the context of the trials in Germany.

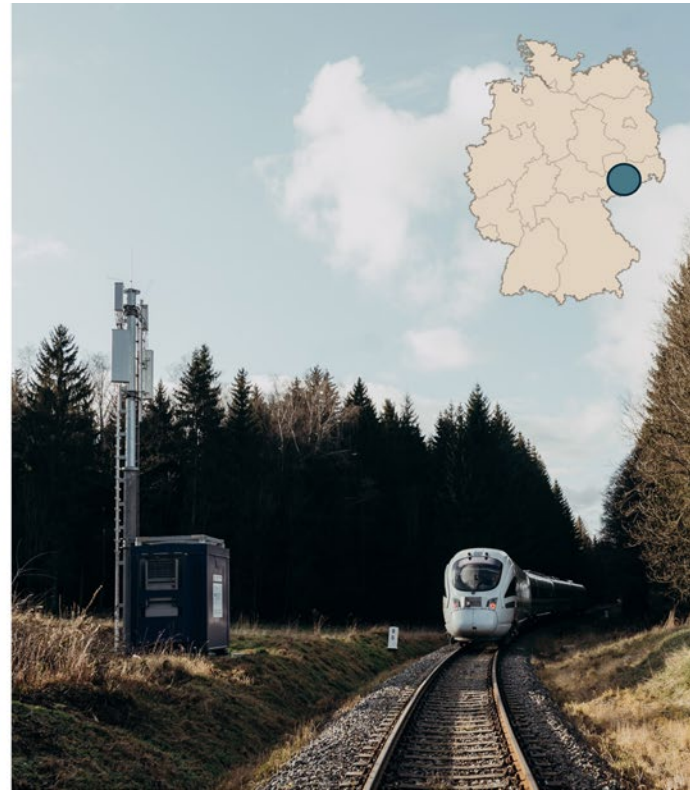


Bild 4: Laborzentrale mit Rechenzentrum und Mastinfrastruktur für das FRMCS-Testnetzwerk im MORANE-2-Testfeld der DB im Erzgebirge

Fig. 4: Central station with the labs and data centres and the mast infrastructure for the FRMCS Test Network at DB's MORANE-2 testbed in the Ore Mountains, Germany
Quelle / Source: DB

- Sprachfunktionstests zur Interoperabilität zwischen FRMCS und GSM-R
 - ETCS- und ATO-Datenübergangsszenarien mit Sicherstellung eines reibungslosen Wechsels von / zu FRMCS und zu / von GSM-R.
- Die beschriebenen Tests werden auf der FRMCS / 5G-Erprobungsstrecke „Digitales Testfeld Bahn“ der DB im Erzgebirge stattfinden [13]. Das Testfeld erstreckt sich auf einer Länge von 25 km zwischen Schwarzenberg und Annaberg-Buchholz und umfasst eine Laborzentrale mit modernem IT- und Rechenzentrum sowie ein Versuchsgleisfeld. Entlang eines Abschnitts von ca. 12 km wurden eine Radiomastinfrastruktur und ein Glasfasernetz zur Verbindung von Funkstandorten aufgebaut (Bild 4). Diese Infrastruktur wird in MORANE-2 genutzt, um die Testarchitektur des deutschen Vorhabens umzusetzen (Bild 5).

Installiert werden voll ausgestattete FRMCS RAN-Systeme von zwei 5G Equipment-Lieferanten mit Schnittstellen untereinander und zu einem bereitgestellten GSM-R-System bei 900 MHz. Die FRMCS-Netze werden bei 1900 MHz im 5G TDD Band N101 betrieben. Besonderheit der Testinstallation ist eine Remote-Anbindung des 5G-Kernnetzes in Herstellerlaboren. Die Nutzung dieses Remote 5G Cores erfolgt über Virtual Private Networks (VPN). Eine Inbetriebnahme der 5G-Radio- und -Kernnetzinstallationen ist für 2026 geplant. Die MORANE-2 Ende-zu-Ende Validierungsaktivitäten in Deutschland, die dann auch FRMCS On-Board-Endgeräte sowie die streckenseitige FRMCS-Service-Umgebung mit IMS / MCX Servern und TS GW umfassen, sollen im ersten Halbjahr 2027 unter Einsatz speziell ausgestatteter Testzüge stattfinden. ■

The test scenarios for cross-border communication include:

- transitions between FRMCS domains at the transport level,
- transitions between FRMCS domains at the service level, including IMS / SIP and the migration of MCX services,
- the “one modem approach” (one 5G terminal) for voice service domain transitions,
- the “two modem approach” (two 5G terminals) for domain transitions with data applications such as ETCS and ATO.

The following aspects will be tested for the interworking and network transition tests between FRMCS and GSM-R networks:

- voice function tests related to the FRMCS / GSM-R interworking,
- ETCS and ATO data transition ensuring a smooth changeover from / to FRMCS and to / from GSM-R.

The described tests will take place on DB's FRMCS / 5G test line “Digitales Testfeld Bahn” in the Ore Mountains, Germany [13]. The testbed extends over a length of 25 km between the towns of Schwarzenberg and Annaberg-Buchholz. It includes a laboratory building with a modern IT and data centre, as well as a test track field. A radio mast infrastructure and a fibre optical network have been built to connect the radio sites along an approximately 12 km section (fig. 4). This infrastructure will be used in MORANE-2 to implement the test architecture of the German project contribution as drawn in fig. 5.

Two 5G equipment vendors will install fully equipped FRMCS RAN systems with interfaces to each other and to a GSM-R system provided at 900 MHz for the tests in Germany. The FRMCS networks will operate at 1900 MHz in the 5G TDD N101 band. A special characteristic of the test installation involves a remote connection to the 5G core network in vendor labs. This remote

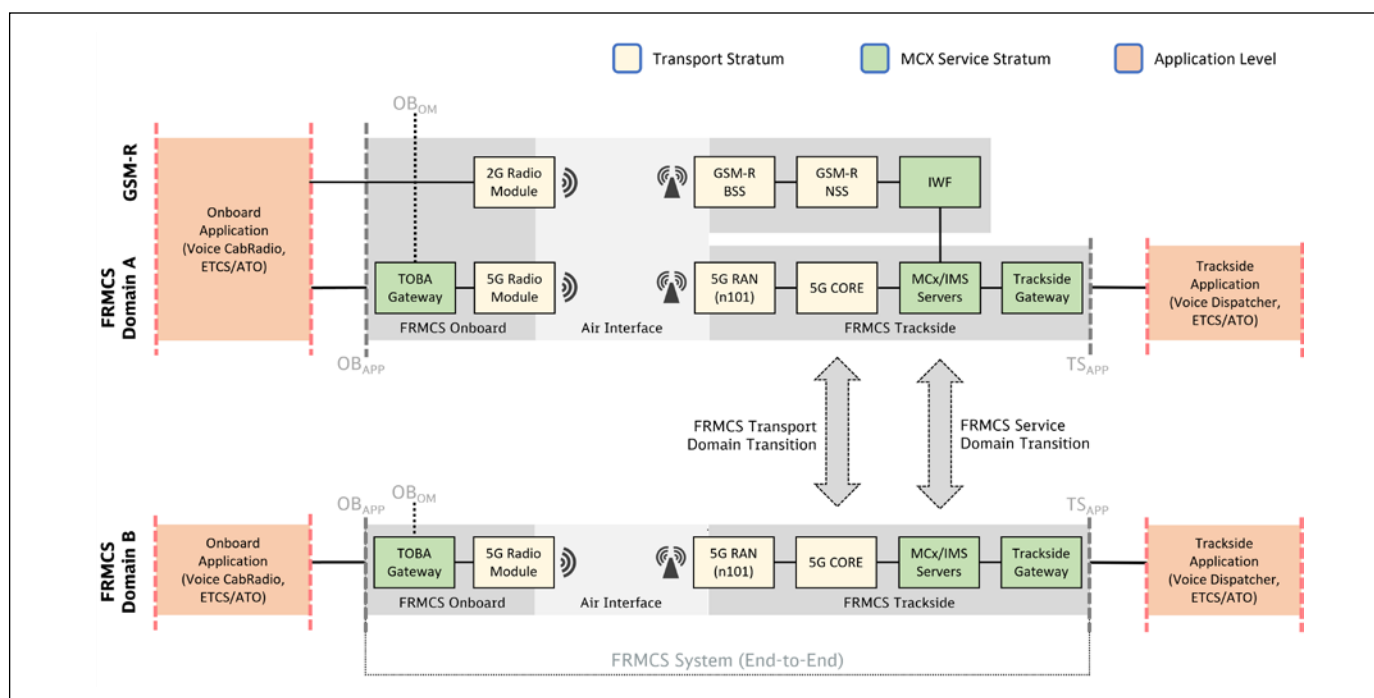


Bild 5: Prinzipielle Architektur zur Studie von FRMCS-Domain-Übergängen (Cross-Border) und FRMCS / GSM-R Interworking-Szenarien im MORANE-2-Testfeld der DB

Fig. 5: The principle architecture to study FRMCS domain transitions (Cross-Border) and FRMCS / GSM-R interworking scenarios at DB's MORANE-2 testbed

Quelle / Source: DB

Förderhinweis

Die Autoren bedanken sich für die Finanzierung des Projekts FP2-MORANE-2 durch die Europäische Union über die Fördervereinbarung Nr. 101196125. Die in diesem Artikel geäußerten Ansichten und Meinungen sind die der Autoren und spiegeln nicht unbedingt Ansichten der Europäischen Union oder von EU-Rail wider.

5G core usage will be implemented via virtual private networks (VPN). The commissioning of the 5G radio and core network installations is planned for 2026. The MORANE-2 end-to-end validation activities in Germany, which will then also include FRMCS on-board terminals and the trackside FRMCS service environment with IMS / MCX servers and TS GW, are scheduled for the first half of 2027 using specially equipped test trains. ■

LITERATUR | LITERATURE

- [1] Marsch, P.; Fritzsche, R.; Holfeld, B.; Kuo, F.-C.: „5G für das digitalisierte Bahnsystem der Zukunft – ein Ausblick auf FRMCS“, SIGNAL+DRAHT 03/2022
- [2] Krantzik, A.; Vrielink, A.: „Zukunft des Bahnfunks: Migration von GSM-R zu FRMCS“, SIGNAL+DRAHT 04/2022
- [3] ETSI TR 103.459, v1.2.1 : Future Rail Mobile Communication System (FRMCS) – Study on system architecture, Aug. 2020
- [4] UIC FW-AT 7800, v2.0.0: Future Railway Mobile Communication System – System Requirements Specification (SRS); FRMCS AT Working Group, Dec. 2024
- [5] Mandoc, D.; Nikolopoulou, V.; Gogos, S.: „5GRAIL paves the way to the Future Railway Mobile Communication System (FRMCS)“, World Congress on Railway Research (WCRR), Birmingham/UK, June 2022
- [6] UIC FRMCS Website; <https://uic.org/rail-system/telecoms-signalling/frmcs>
- [7] ETSI TC RT Website; <https://www.etsi.org/technologies/rail-communications>
- [8] ECC Decision (20)02; Harmonised use of the paired frequency bands 874.4-880.0 MHz and 919.4-925.0 MHz and of the unpaired frequency band 1900-1910 MHz for Railway Mobile Radio (RMR), Nov. 2020
- [9] European Commission Implementing Decision (EU) 2021/1730, Sept. 2021
- [10] EU-Rail Deployment Group Website; <https://rail-research.europa.eu/participants-deployment-group/>
- [11] European Commission CORDIS portal; FP2-MORANE-2 Fact Sheet; <https://cordis.europa.eu/project/id/101196125>
- [12] UIC FRMCS Conference 2024, Session 7; <https://uicfrmcs.org/speaker-presentations?lang=en>
- [13] Digitale Schiene Deutschland Website: „FRMCS/5G-Teststrecke im Digitalen Testfeld Bahn im Erzgebirge“, <https://digitale-schiene-deutschland.de/5G-Testfeld-im-Erzgebirge>

Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the funding received for the project FP2-MORANE-2 from the European Union via grant agreement no. 101196125. The views and opinions expressed in this article are, however, those of the authors and do not necessarily reflect those of the European Union or EU-Rail.

AUTOREN | AUTHORS

Bernd Holfeld

Digitale Infrastruktur und Kommunikationstechnik /
Digital infrastructure and communication technology
DB InfraGO AG
Adresse / Address: EUREF-Campus 17, D-10829 Berlin
E-Mail: bernd.holfeld@deutschebahn.com

Patrick Ruhrig

Digitale Infrastruktur und Kommunikationstechnik /
Digital infrastructure and communication technology
DB InfraGO AG
Adresse / Address: Adam-Riese-Straße 11-13, D-60327 Frankfurt
E-Mail: patrick.ruhrig@deutschebahn.com