

5G für das digitalisierte Bahnsystem der Zukunft – ein Ausblick auf FRMCS

5G for the digital rail system of the future – the prospects for FRMCS

Patrick Marsch | Richard Fritzsche | Bernd Holfeld | Fang-Chun Kuo

Durch die Digitalisierung des Bahnsystems wird die Echtzeitdatenübertragung zwischen Zug und Strecke durch eine hochleistungsfähige, drahtlose Verbindung immer wichtiger. Mit der Einführung des 5G-basierten Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) wird die dafür benötigte Konnektivität realisiert. Dieser Beitrag gibt einen Ausblick auf künftige Anwendungsfälle, die FRMCS Architektur sowie die umfangreichen Aktivitäten der DB im Kontext von FRMCS-Standardisierung, -Entwicklung und -Feldversuchen.

1 Digitaler Bahnbetrieb und die Rolle von FRMCS und 5G

Weniger Verkehr, weniger Staus, weniger Feinstaub – und dafür mehr Personen und mehr Güter auf der Schiene: Der Bahnsektor in Europa steht vor einem Technologiesprung in die digitale Zukunft. Die Sektorinitiative „Digitale Schiene Deutschland“ (DSD) nutzt diese Chance und bringt Zukunftstechnologien auf die Schiene. Davon profitieren nicht nur die Reisenden, sondern auch das Klima und der Wirtschaftsstandort Deutschland. Und das alles ohne den Bau eines einzigen neuen Gleises.

Das Fundament dafür wird mit der grundlegenden Modernisierung und Digitalisierung der Infrastruktur durch die konsequente Einführung digitaler Leit- und Sicherungstechnik gelegt. Darüber hinaus arbeitet DSD an einer weitreichenden Digitalisierung des Bahnsystems. So sollen zukünftig ein auf Künstlicher Intelligenz (KI) basiertes Verkehrsmanagement, ein vollautomatisierter Zugbetrieb, in dem Züge in optimalen Abständen fahren, modernste Sensortechnik zur Umfeldwahrnehmung und hochpräzisen Zugortung sowie ein automatisiertes Störfallmanagement das Bahnsystem auszeichnen. Insgesamt wird so eine deutliche Verbesserung der Kapazität, Pünktlichkeit und Effizienz erreicht, allesamt Voraussetzungen für mehr Verkehr auf der Schiene und eine Stärkung der Bahn als klimafreundlicher Verkehrsträger der Zukunft.

Eine wichtige Voraussetzung für die Digitalisierung des Bahnbetriebs ist die Echtzeitdatenübertragung durch eine hochleistungsfähige, drahtlose Verbindung zwischen Zug und Strecke. Um die damit einhergehenden Konnektivitätsanforderungen besser zu verstehen, seien hier exemplarisch zwei Beispiele genannt (Bild 1):

- Fahren im optimalen Abstand: Durch das sogenannte European Train Control System (ETCS) Level 3 Moving Block Konzept soll es ermöglicht werden, dass Züge in kürzeren Abständen fahren. Im Gegensatz zur heutigen Sicherheitslogik, die auf der Unterteilung der Gleise in statische, durch wartungsintensive Infrastrukturelemente wie Achszähler abgegrenz-

The digitalisation of the rail system makes real-time data transmission between train and trackside through a high-performance wireless connection increasingly important. The connectivity required for this is being realised with the introduction of the 5G-based Future Railway Mobile Communication System (FRMCS). This article provides a summary of the future use cases, the FRMCS architecture and the comprehensive activities undertaken by DB within the context of FRMCS standardisation, development and field trials.

1 Digital rail operations and the role of FRMCS and 5G

Less traffic, less congestion, less particulate matter and therefore more people and more goods on the rails: the rail sector in Europe is on the verge of a technological leap into the digital future. The “Digitale Schiene Deutschland” (DSD) sector initiative is taking advantage of this opportunity and bringing future technologies into the rail system. This benefits not only passengers, but also the climate and Germany as a business location. And all this without having to deploy a single new track.

The foundation for this is being laid through the fundamental modernisation and digitalisation of the infrastructure by means of the consistent introduction of digital control and safety technology. In addition, DSD is also working on the far-reaching digitalisation of the railway system, for instance characterised by an artificial intelligence (AI) based traffic and incident management system, trains travelling with minimum headways, fully automated train operation based on the latest sensor technology for environmental perception and high-precision train location and automated incidence management. Overall, significant improvements in the capacity, punctuality and efficiency of the railway system will be achieved, all of which are requirements for providing more traffic on the railway and strengthening the railway as the climate friendly mode of transport of the future.

A key prerequisite for the envisioned digitalisation of rail operations involves real time data transmission enabled by high performance wireless connectivity between the train and trackside. In order to understand what is required of this connectivity, let us delve here into two exemplary connectivity use cases, which are also depicted in fig. 1:

- Driving with minimum headways: As previously mentioned, trains are expected to travel with minimum headways, which will be enabled through a so-called European Train Control System (ETCS) Level 3 Moving Block approach. Contrary to the current safety logic, which is based on dividing the tracks into static segments delimited through expensive infrastructure el-

te Segmente beruht, wird mit dem neuen Konzept außerdem eine zugzentrierte Sicherheitslogik eingeführt, die eine höhere Zugkapazität bei geringeren Infrastrukturkosten ermöglicht. Hierfür müssen die Züge mit digitalen Kartendaten und sogenannten Global Navigation Satellite System (GNSS)-Korrekturdaten versorgt werden, um eine präzise und sichere fahrzeugseitige Ortung durchzuführen. Die Standortinformationen werden dann zusammen mit Informationen über die Integrität des Zuges an die Infrastruktur zurückgemeldet, die daraufhin dem Zug eine sogenannte Movement Authority (Fahrerlaubnis) erteilt und diesem mitteilt, wie weit er sicher fahren kann. Darüber hinaus signalisiert die Infrastruktur dem Zug ständig sogenannte Automatic Train Operation (ATO)-Informationen, die Segment- und Journey-Profile umfassen, auf deren Grundlage der Zug automatisch optimal beschleunigt und abbremsst.

- Fernsteuerung in Ausnahmesituationen im Rahmen des vollautomatisierten Fahrens: Perspektivisch plant DSD die Einführung des vollautomatisierten Fahrens gemäß sogenanntem Grade of Automation 4 (GoA 4). Hierbei kann ein Zug durch Sensorik z.B. automatisiert auf Gefahren im Gleisumfeld reagieren. Eine Technologiereife wird frühestens 2030 erwartet, beginnend zunächst bei Rangier- und Bereitstellungsfahrten, später auch im Fahrgastbetrieb. Im Zusammenhang mit Ausnahmesituationen ergeben sich sehr anspruchsvolle Anwendungsfälle hinsichtlich der Konnektivität, insbesondere wenn ein Fernzugriff auf Video- und Sensordaten im Zug erforderlich ist, z. B. um die Ursache des Zwischenfalls zu ermitteln oder um mit den Fahrgästen im Zug in Kontakt zu bleiben. Ein möglicher Fall ist auch, dass der Zug zumindest bis zu einem nächsten sicheren Ort wie einem Bahnhof oder einem Nebengleis ferngesteuert werden muss.

Im Vergleich zum heutigen Bahnbetrieb führen die neuen Anwendungsfälle zu erheblich höheren Anforderungen an die Konnektivität (Bild 1). So wird erwartet, dass die durchschnittlich erforderliche Datenrate um zwei Größenordnungen auf mehrere Mbit/s je Zug ansteigen wird. Gleichzeitig steigen auch die Anforderungen an die Latenzzeiten erheblich. Insbesondere im Zusammenhang mit dem vollautomatisierten Fahren werden Ende-zu-Ende (E2E)- Latenzen im Bereich von 10 ms erforderlich [1]. Aufgrund der stark gestiegenen Anforderungen an die Datenraten hat die Europäische Kommission zusätzliche 10 MHz Frequenzspek-

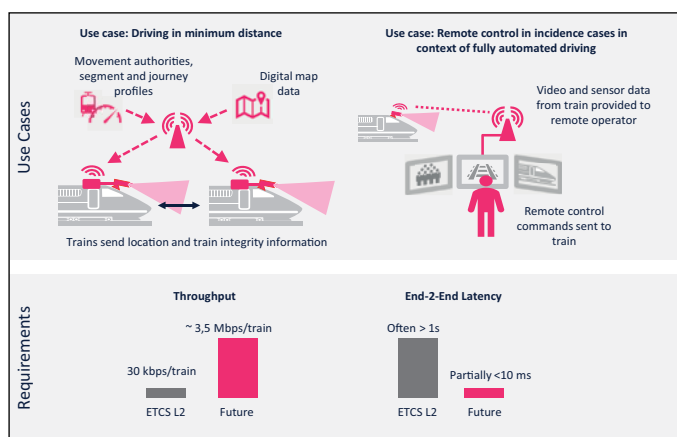


Bild 1: Beispielhafte Anwendungsfälle für Konnektivität im digitalisierten Bahnbetrieb und die Veränderung der Anforderungen im Vergleich zu heute

Fig. 1: Exemplary connectivity use cases in digitalised rail operations and the change in the requirements compared to today

ments such as axle counters, the new approach will additionally introduce a train-centric safety logic that enables increased train capacity at reduced infrastructure costs. This approach requires the trains to be provided with digital map data and so-called Global Navigation Satellite System (GNSS) correction data so that they can perform precise and safe onboard localisation. The location information will then be signalled back to the infrastructure along with the train integrity information, on the basis of which the infrastructure will issue a so-called movement authority to the train telling it how far it can safely travel. On top of this, the infrastructure will also constantly send so-called Automatic Train Operation (ATO) information comprising segment and journey profiles to the train, on the basis of which the train will automatically and optimally accelerate and decelerate.

- Remote control under exceptional circumstances within the context of fully automated driving: In the long term, DSD plans to introduce fully automated driving in accordance with so-called Grade of Automation 4 (GoA 4). There, a train can, for example, react to hazards in the track environment automatically using sensors. The technology is expected to be ready by 2030 at the earliest, initially starting with shunting and provisioning operations and later also with passenger operations. Some very challenging use cases can arise within the context of exceptional circumstances in terms of connectivity, especially when remote access to video and sensor data on the train is required, e.g. to determine the cause of an incident or to remain in contact with the passengers on the train. A possible use case may also occur when the train needs to be remotely controlled at least to a next safe location, such as a station or a siding.

Compared to current rail operations, the new use cases will lead to substantially increased connectivity requirements, as also shown in fig. 1. For instance, the average data rate required per train is expected to increase by two orders of magnitude to several Mbps/train. At the same time, latency requirements will also become substantially more stringent with some use cases, especially within the context of fully automated driving, requiring end-to-end (E2E) latencies to the order of 10 ms [1].

Due to the strongly increased data rate demands, the European Commission has granted an additional 10 MHz spectrum for the railway sector in the 1900 MHz regime, which can be used complementarily to the 2 x 5.6 MHz in the 900 MHz regime [2].

2 Architecture, properties and innovations within the context of FRMCS

The FRMCS design follows two important principles: the decoupling of connectivity technology from railway applications on the one hand, and the maximum utilisation of standardised commercial off-the-shelf (COTS) components on the other.

The first aspect is motivated by the very different life cycles of the applications and the communication system, e.g. due to market effects. Decoupling ensures that the two systems can be upgraded largely independently of each other. This is particularly relevant for safety-relevant applications, for which lengthy homologation processes must be considered in the case of any changes. The second aspect enables cost-efficient FRMCS installations (for both onboard and infrastructure equipment), as it envisages the use of standard components that are also used for mobile broadband or mission-critical communications in other industrial sectors.

trum für den Eisenbahnsektor im 1900 MHz-Bereich erteilt, die ergänzend zu den 2 x 5,6 MHz im 900 MHz-Bereich genutzt werden können [2].

2 Architektur, Eigenschaften und Innovationen im Kontext von FRMCS

Das Design von FRMCS folgt zwei wichtigen Leitplanken: Zum einen der Entkopplung der Kommunikationsfunktionen von bahnspezifischen Applikationen und zum anderen der maximalen Nutzung von standardisierten, handelsüblichen Komponenten. Der erste Aspekt ist durch die unterschiedlichen Lebenszyklen der Anwendungen und des Kommunikationssystems motiviert, z. B. aufgrund von Markteffekten. Die Entkopplung stellt sicher, dass die beiden Systeme weitgehend unabhängig voneinander aufgerüstet werden können. Dies ist insbesondere für sicherheitsrelevante Anwendungen von Interesse, bei denen im Falle von Änderungen langwierige Zulassungsprozesse berücksichtigt werden müssen. Der zweite Aspekt ermöglicht eine kosteneffiziente FRMCS-Ausrüstung (sowohl zugeseitig als auch infrastrukturseitig), da Standardkomponenten verwendet werden, die auch in anderen Branchen z. B. für mobiles Breitband oder kritische Kommunikation in anderen Industriesektoren im Einsatz sind.

Insgesamt ist die FRMCS-Architektur in ein sogenanntes Transport Stratum und ein Service Stratum unterteilt, welche beide hauptsächlich auf Komponenten basieren, die im Rahmen des 3rd Generation Partnership Program (3GPP) standardisiert werden [3]. Das Transport Stratum nutzt 5G-Core-Technologie, welche bereits in heutigen öffentlichen Mobilfunknetzen eingeführt wurde. Der 5G-Core ermöglicht die Einbindung verschiedener 3GPP-Zugangstechnologien wie 5G New Radio (NR), aber auch Technologien, die außerhalb von 3GPP spezifiziert wurden, wie z. B. Wi-Fi oder Satellitenkommunikation. Das Service Stratum basiert auf dem Mission Critical Services (MCX) Framework, das im Kontext der öffentlichen Sicherheit initiiert und nun weiterentwickelt wurde, um speziell auch Anwendungsfälle im Bahnbereich abzudecken. MCX führt zahlreiche zusätzliche Funktionen für Sprach-, Video- und Datenübertragungsdienste ein, die für die Bahnkommunikation relevant sind.

Die Entkopplung der Bahnanwendungen vom Transport Stratum (d. h. dem verwendeten Funkmodul) ermöglicht es, dass der Verkehr mehrerer Anwendungen über ein einziges Funkmodul übertragen wird, oder dass der Verkehr einer einzigen Bahnanwendung auf

Overall, the FRMCS architecture is divided into a so-called transport stratum and a service stratum, both of which are mainly based on components standardised in the 3rd Generation Partnership Program (3GPP) [3]. The transport stratum uses 5G Core technology, which has already been introduced in today's public mobile networks. The 5G Core allows the incorporation of different 3GPP access technologies, such as 5G New Radio (NR), but also technologies specified outside 3GPP, e.g. Wi-Fi or satellite communication. The service stratum is based on the Mission Critical Services (MCX) Framework, which was instigated within the public safety context and has lately evolved to specifically also cover railway use cases. MCX introduces numerous additional functions for voice, video and data transmission services that are useful within the context of railway communications.

Decoupling the railway applications from the transport stratum (i.e. the specific type of radio used) also allows the traffic from multiple applications to be transmitted via a single radio or the traffic from a single railway application to be distributed over multiple radios. The plan is for the transparent mapping of the applications to radio modules on the train to be handled by the so-called FRMCS Onboard Gateway (fig. 2), e.g. based on the applications' data rate or latency requirements, as well as the current conditions for the respective radio links.

The FRMCS trackside architecture enables a variety of deployment options. For instance, railways can own and operate their own FRMCS infrastructure (which is considered mandatory in Germany, if safety-related applications utilise the infrastructure in question) in combination with a public network infrastructure that serves as a backup in case the railway-owned network fails or as a capacity complement.

Some future applications for rail operations require low latency transmission. In order to meet the challenging latency demands, FRMCS provides opportunities to shorten the trackside transmission path by enabling the distributed deployment of the applications close to the train. In addition, 5G based Ultra-Reliable Low-Latency Communication (URLLC) functions enable low latencies in the radio link, e.g. by avoiding retransmissions (typically at the cost of spectral efficiency reduction). In general, 5G and FRMCS provide the means to consider the different connectivity requirements (e.g. the data rate, latency and packet reliability) that are specific to each application by intro-

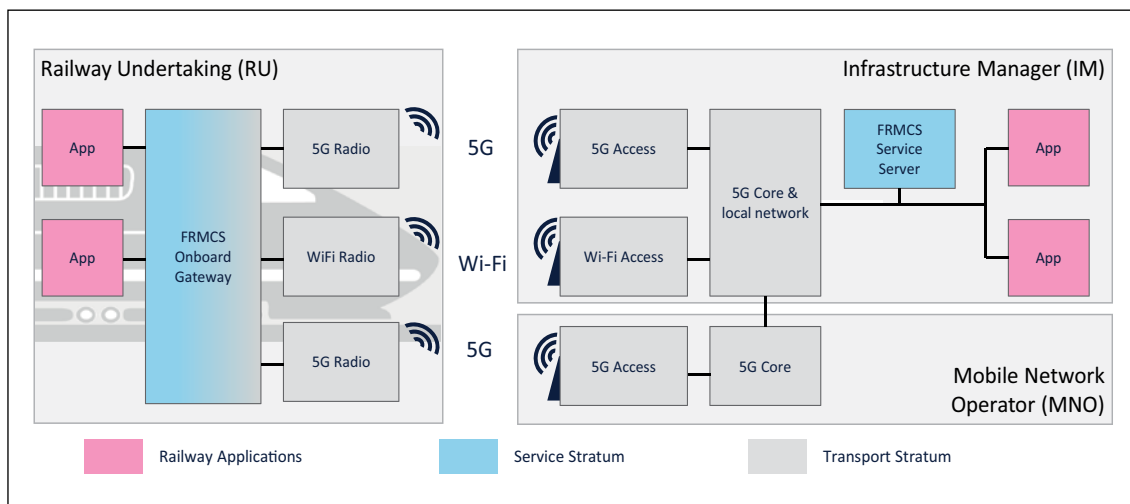


Bild 2: High-Level FRMCS-Architektur in Übereinstimmung mit dem ETSI FRMCS-Systemarchitekturbericht [3]

Fig. 2: A high-level FRMCS architecture in accordance with the ETSI FRMCS system architecture report [3]

mehrere Funkmodule verteilt wird. Im Zug soll die transparente Zuordnung von Anwendungen zu Funkmodulen durch das sogenannte FRMCS Onboard Gateway erfolgen (Bild 2), z. B. basierend auf Datenraten- oder Latenzanforderungen der Anwendungen sowie der aktuellen Qualität der jeweiligen Funkverbindungen.

Die FRMCS-Architektur ermöglicht eine Vielzahl von Implementierungsoptionen. So können die Bahnen ihre eigene FRMCS-Infrastruktur besitzen und betreiben (was in Deutschland bei der Nutzung von sicherheitsrelevanten Anwendungen als obligatorisch angesehen wird) und diese mit öffentlichen Mobilfunknetzen ergänzen, z. B. als Rückfallebene oder als Kapazitätserweiterung. Einige der künftigen Anwendungen im Bahnbetrieb erfordern Übertragungen mit geringer Latenz. Um anspruchsvolle Latenzanforderungen zu erfüllen, bietet FRMCS die Möglichkeit, den Übertragungsweg zu verkürzen, indem es verteilte streckenseitige Anwendungen in Zugnähe ermöglicht. Darüber hinaus erlauben 5G-basierte Ultra-Reliable Low-Latency Communications (URLLC)-Funktionen niedrige Latenzen der Funkverbindung, z. B. durch die Vermeidung erneuter Übertragungen (in der Regel auf Kosten geringerer spektraler Effizienz). Das fortschrittliche Quality of Service (QoS)-Framework von 5G und FRMCS bietet zudem die Möglichkeit, dass die unterschiedlichen applikationsspezifischen Konnektivitätsanforderungen (z. B. in Bezug auf Datenrate, Latenz und Paketzuverlässigkeit) maßgeschneidert berücksichtigt werden können.

Um den anspruchsvollen Anforderungen des zukünftigen Bahnbetriebs gerecht zu werden, bietet FRMCS erweiterte Funktionen für die sprachbasierte Kommunikation, wie sie auch für den Betrieb heutiger Bahnsysteme erforderlich sind. In diesem Zusammenhang bietet FRMCS beispielsweise Möglichkeiten für Rufpriorisierung, ortsabhängige Adressierung sowie für Gruppenanrufe.

3 Standardisierung, F&E und Feldversuche für eine frühe FRMCS-Einführung

3.1 Allgemeine Roadmap

In Anbetracht der bevorstehenden GSM-R-Obsoleszenz und der Bedarfe des digitalisierten Bahnsystems hält die Deutsche Bahn AG (DB) es für notwendig, ab etwa 2025 mit dem Aufbau eines eigenen FRMCS-Netzes zu beginnen, mit dem Ziel, den landesweiten Übergang von GSM-R zu FRMCS etwa 2035 abzuschließen (Bild 3). Weitere Details zur FRMCS-Einführung sind in [4] beschrieben. Erste Umsetzungen von hochautomatisiertem Fahren (ATO GoA 2), z. B. im Raum Stuttgart, würden vorübergehend auf die Nutzung öffentlicher Netze angewiesen sein (was möglich ist, da ATO in diesem Stadium nicht sicherheits- oder betriebskritisch ist), bevor diese dann ab etwa 2027 auf ein DB-eigenes FRMCS-Netz portiert würden. Eine Einführung von vollautomatisiertem Fahren (ATO GoA 4) über das DB-eigene FRMCS-Netz könnte dann perspektivisch ab 2030 erfolgen.

Um eine rechtzeitige FRMCS-Einführung zu gewährleisten, engagiert sich die DB in einem breiten Spektrum von Aktivitäten, die von der Standardisierung über Forschungs- und Entwicklungs (F&E)-Kooperationen und Feldversuche bis hin zur eigentlichen FRMCS-Einführung reichen und im Folgenden beschrieben werden.

3.2 Standardisierung

Ein wichtiger Schritt für eine zeitnahe Einführung von FRMCS ist zunächst die Festlegung einer Norm, die die technische Interoperabilität in ganz Europa gewährleistet. Zu diesem Zweck arbeiten führende Bahnen und die Industrie eng zusammen, um FRMCS in den Standardisierungsgruppen UIC, ETSI, 3GPP und ECC CEPT zu

ducen an advanced Quality of Service (QoS) framework that allows the bespoke handling of data traffic.

In addition to meeting the demanding requirements of future rail operations, FRMCS also provides advanced features for voice-based communications, which are also required for the operation of contemporary railway systems. In this regard, for instance, FRMCS offers the option of call prioritisation, location dependent, addressing and group calls.

3 Standardisation, R&D and trials toward an early FRMCS rollout

3.1 The general roadmap

Given the upcoming GSM-R obsolescence and the needs of the digitalised rail system, Deutsche Bahn AG (DB) considers it necessary to start building its own FRMCS network from around 2025 with the aim of completing the nationwide transition from GSM-R to FRMCS around 2035, as shown in fig. 3. Further details on the introduction of FRMCS are described in [4]. Any initial implementations of highly automated driving (ATO GoA 2), e.g. in the Stuttgart area, would temporarily rely on the use of public networks (which is possible because ATO is not safety or operationally critical at this stage) before then being ported to DB's own FRMCS network around 2027. The introduction of fully automated driving (ATO GoA 4) using DB's own FRMCS network could then prospectively take place from 2030 onwards.

In order to ensure the timely introduction of FRMCS, DB is engaged in a wide array of activities ranging from standardisation to research and development (R&D) collaborations and field trials to the actual FRMCS deployment, as detailed in the following section.

3.2 Standardisation

A vital step toward the timely introduction of FRMCS involves first establishing a standard that ensures technical interoperability across Europe. To this end, leading railways and the industry are working closely together to specify FRMCS in the UIC, ETSI, 3GPP and ECC CEPT standardisation groups. The FRMCS specifications in ETSI and UIC integrate the necessary 3GPP building blocks and provide a technical bridge to the railway applications with various design options and configurations. The current specification work is expected to result in an update of the EU legal framework in form of a so-called Technical Specification for Interoperability (TSI). More precisely, it is envisioned that the ERA TSI 2022 will set out the first version of FRMCS with the most essential functions, which will then be further evolved via European Railway Agency (ERA) technical opinions and further TSIs. It is crucial for DB that this first version is already architecturally future-proof in relation to the long-term needs of rail operations, for instance regarding support for distributed deployments and the parallel use of multiple networks, while related functions can also be added after TSI 2022.

3.3 R&D collaborations

Beyond standardisation, DB has placed a strong emphasis on tight collaboration with a number of industry partners with the aim of maximally leveraging the latest advances in mainstream 5G technology for the rail sector, developing recommendations for FRMCS system configurations, and identifying potential standardisation gaps. As such, DB Netz has recently concluded the following R&D collaborations on different aspects of the FRMCS system:

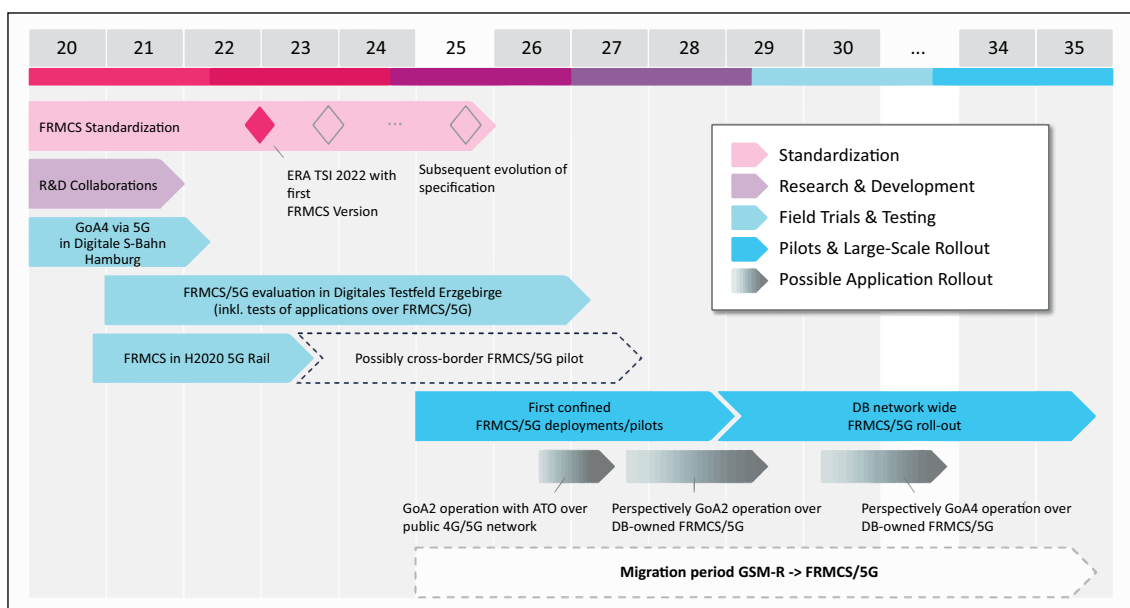


Bild 3: Vorgesehener Zeitplan für die Einführung von FRMCS durch die DB und Überblick über die verschiedenen Schritte

Fig. 3: The intended timeline for the introduction of FRMCS by DB and an overview of the various steps taken

spezifizieren. Die FRMCS-Spezifikationen in ETSI und UIC integrieren die notwendigen 3GPP-Bausteine und bilden die technische Brücke zu den Bahnanwendungen mit verschiedenen Designoptionen und Konfigurationen. Die derzeitige Arbeit an den Spezifikationen wird voraussichtlich zu einer Aktualisierung des EU-Rechtsrahmens in Form einer sogenannten Technischen Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) führen. Die ERA TSI 2022 soll eine erste Version von FRMCS mit den wichtigsten Funktionen enthalten, die dann über technische Stellungnahmen der European Railway Agency (ERA) und weitere TSI weiterentwickelt wird. Für die DB ist es wichtig, dass die genannte erste Version bereits architekturell zukunftssicher im Hinblick auf die langfristigen Anforderungen des Eisenbahnbetriebs ist, z. B. im Hinblick auf die Unterstützung verteilter Architekturen und die parallele Nutzung mehrerer Netze, während die entsprechenden Funktionalitäten auch nach der TSI 2022 hinzugefügt werden können.

3.3 F&E-Kollaborationen

Über die Standardisierung hinaus legt die DB im Rahmen der DSD großen Wert auf eine enge Zusammenarbeit mit Industriepartnern. Ziel ist es, die neuesten Fortschritte bei der 5G-Mainstream-Technologie für den Bahnsektor optimal zu nutzen, Empfehlungen für Konfigurationen des FRMCS-Systems zu entwickeln und potenzielle Lücken in der Standardisierung zu identifizieren. Hierzu hat DB Netz kürzlich vier F&E-Kooperationen zu verschiedenen Aspekten des FRMCS-Systems abgeschlossen:

- In einer Zusammenarbeit mit Ericsson wurden 5G-Core-Aspekte untersucht, insbesondere zu Service-Kontinuität und Quality of Service.
- Ein gemeinsames Projekt mit Kontron Transportation konzentrierte sich auf die Nutzung des MCX-Frameworks im Kontext des digitalen Bahnbetriebs. Mehrere Standardisierungslücken wurden identifiziert und in der Standardisierung adressiert.
- Gemeinsam mit Nokia wurde FRMCS im Hinblick auf eine hohe Ausfallsicherheit und IT-Sicherheit untersucht. Redundanzkonzepte für das Radio Access Network (RAN) und Core Network sowie das Glasfaser-Festnetz standen dabei im Fokus.
- Eine Kooperation mit Vodafone zielte darauf ab, die Nutzung öffentlicher Mobilfunknetze als Rückfallebene oder Ergänzung zu einem DB-eigenen FRMCS-Netz für die Übertragung nicht-

- 5G core aspects were the subject of an investigation in a collaboration with Ericsson, in particular with regard to service continuity and the quality of service.
- A joint project with Kontron Transportation focused on the specific use and configuration of the MCX framework within the context of digital rail operations. Several standardisation gaps were identified and addressed to the standards bodies.
- In cooperation with Nokia, DB investigated FRMCS in terms of its high resilience and IT security. Redundancy concepts for the Radio Access Network (RAN) and Core Network, as well as the fibre fixed network were the focus of these investigations.
- Last but not least, a cooperation with Vodafone focussed on investigating the use of public mobile networks as a fallback or supplement to a DB-owned FRMCS network for the transmission of non-safety-related data from a technical point of view.

Detailed reports on the stated R&D collaborations can be found on the DSD website [5].

3.4 Field trials

It is essential for DB Netz to gain practical experience with FRMCS and 5G through early prototyping and testing. DB and Siemens Mobility have teamed up with support from the City of Hamburg in a very early step in this direction aimed at demonstrating how highly automated travel and fully automated shunting operations can be implemented on the Hamburg S-Bahn. Nokia has been involved in the project for fully automated shunting operations (GoA 4) via 5G. As part of this setup, safety-critical Advanced Vital Vehicle Operation (AVVO) information, for instance related to the start of the mission, was exchanged between the trains and the infrastructure in real-time in one of the world's first 5G stand-alone deployments. The work was demonstrated at the 2021 ITS World Congress [6].

Further FRMCS prototyping and real-world testing activities are taking place at DB's Digital Rail Testbed located between the towns of Schwarzenberg and Annaberg-Buchholz in the Ore Mountains, Germany (fig. 4). The testbed includes a 10 km railway track equipped with the basic infrastructure for oper-

sicherheitsrelevanter Daten aus technischer Sicht zu untersuchen.

Ausführliche Berichte über die genannten F&E-Kooperationen finden sich auf der DSD-Website [5].

3.4 Feldversuche

Für DB Netz ist es wichtig, durch frühzeitiges Prototyping und Testen praktische Erfahrungen mit FRMCS und 5G zu sammeln.

Als ersten Schritt in diese Richtung haben sich die DB und Siemens Mobility mit Unterstützung der Stadt Hamburg zusammengetan, um zu demonstrieren, wie eine hochautomatische Fahrt und ein vollautomatischer Rangierbetrieb bei der S-Bahn Hamburg realisiert werden kann. Für den vollautomatisierten Rangierbetrieb (GoA 4) über 5G wurde Nokia in das Projekt mit eingebunden. In diesem Setup, das eine der weltweit ersten 5G-Standalone-Implementierungen darstellte, wurden sicherheitskritische Advanced Vital Vehicle Operation (AVVO)-Informationen zwischen Zug und Infrastruktur in Echtzeit ausgetauscht, z.B. in Bezug auf den Fahrtbeginn. Diese Arbeit wurde auf dem ITS World Congress 2021 demonstriert [6].

Weitere FRMCS-Prototyping- und -Praxistests finden im Digitalen Testfeld Bahn der DB statt, das sich zwischen den Städten Schwarzenberg und Annaberg-Buchholz im Erzgebirge befindet (Bild 4). Das Testfeld umfasst eine 10 km lange Bahnstrecke, die mit der grundlegenden Infrastruktur für den Betrieb mobiler Testnetze ausgestattet ist, d.h. Funkstandorte mit Antennenmasten und Glasfaserverbindungen. Die Strecke ist für experimentelle Fahrten mit einer Geschwindigkeitsbegrenzung von 50–80 km/h vorgesehen. DB Netz nutzt das Testfeld, um die Eigenschaften von 5G-basierter FRMCS-Infrastruktur sowie Cloud-Computing-Lösungen verschiedener Anbieter im Rahmen einer Reihe von Erprobungsprojekten zu untersuchen:

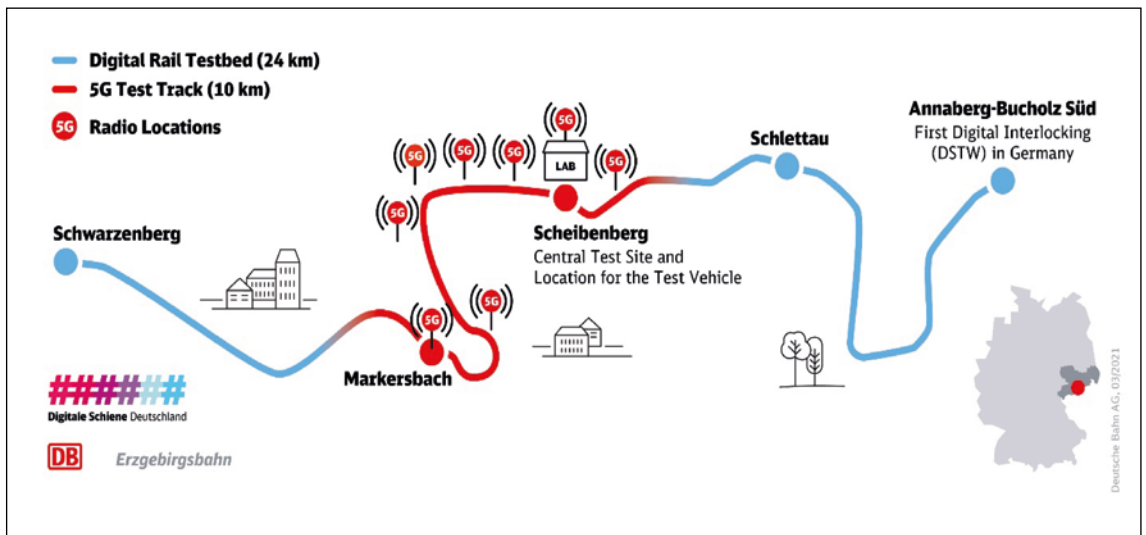
- Im Jahr 2021 startete DSD eine Feldstudie zu innovativen Antennensystemen für FRMCS. Es wurde die Signalausbreitung im zukünftigen FRMCS-Frequenzband bei 1,9 GHz sowie Mehrantennen-Funktechnologien wie Multiple-Input Multiple-Output (MIMO), Beamforming und Coordinated Multi-Point (CoMP) untersucht und ihre Auswirkungen auf die Erzielung höherer Datenraten und größerer Zellreichweiten analysiert:
 - MIMO-Systeme verwenden mehrere Antennen auf Sender- und Empfängerseite für das sogenannte „räumliche Multiplexen“ mehrerer paralleler Datenströme und ermöglichen dadurch eine Erhöhung von Datenraten.

ating mobile test networks, i.e. radio sites with antenna masts with a height of 10 m and fibre-optic connections. The track is dedicated to experimental trials with a speed limitation of 50–80 km/h. DB Netz is using the testbed to investigate the features of 5G-based FRMCS equipment and cloud computing infrastructures from various suppliers. A series of trial projects has been defined:

- In 2021, DSD started a field study on innovative antenna systems for FRMCS deployments. The trials have investigated signal propagation in the future FRMCS frequency band at 1.9 GHz. Moreover, the trials have also covered multi-antenna radio technologies, such as multiple-input multiple-output (MIMO), beamforming and coordinated multi-point (CoMP), and their impact on achieving higher data rates and increasing cell ranges in railway communication networks:
 - MIMO systems use multiple antennae on the transmitter and receiver side for the so-called “spatial multiplexing” of multiple data streams in parallel and as such they allow increased data rates.
 - Beamforming allows transmitted signals to be directed in a certain direction and hence enables increased signal quality, coverage and data rate.
 - Coordinated multi-point refers to schemes where multiple base stations jointly transmit or receive the signals related to one or multiple trains, which allows the signal quality to be improved, particularly at the edge between radio cells.
 Passive MIMO antennas are being used for the field study as they allow a network configuration with up to eight antenna ports in the trackside radio cells and four antenna ports in the onboard terminals. Detailed results of the promising measurements will be published in 2022.
- In 2022, DSD did commence proof-of-concept (PoC) trials of an FRMCS E2E network based on 5G stand-alone equipment. The E2E setup will be optimised for the quality-of-service requirements of railways and will use 3GPP’s MCX features. It serves as a platform to test voice and ETCS over FRMCS as well as to integrate future railway applications, such as ATO and data-intensive and latency-critical sensor- and video transfer.
- The 5GRail project [7], funded by the EU under the Horizon 2020 program, will be active at the testbed from 2020 to 2023. 18 European partners, including DB Netz, are working together to validate the first version of the FRMCS standard specifications

Bild 4: Überblick über das Digitale Testfeld Bahn der DB im Erzgebirge, Deutschland

Fig. 4: An overview of DB’s Digital Rail Testbed in the Ore Mountains, Germany



Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DB Netz AG /
 Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten
 genehmigt / © DVV Media Group GmbH

- Beamforming ermöglicht es, die übertragenen Signale in eine bestimmte Richtung zu lenken und damit die Signalqualität, Abdeckung und Datenrate zu erhöhen.
- Coordinated Multi-Point bezieht sich auf Systeme, bei denen mehrere Basisstationen die Signale für einen oder mehrere Züge gemeinsam senden und empfangen, wodurch die Signalqualität insbesondere an den Grenzen zwischen Funkzellen verbessert werden kann.

Für die Feldstudie werden passive MIMO-Antennen verwendet, die eine Netzkonfiguration mit bis zu acht Antennenanschlüssen an den streckenseitigen Funkzellen und vier Antennenanschlüssen an den fahrzeugseitigen Terminals ermöglichen. Detaillierte Ergebnisse der vielversprechenden Messungen werden im Jahr 2022 veröffentlicht.

- Im Jahr 2022 hat DSD mit Proof-of-Concept (PoC)-Tests eines FRMCS E2E-Netzes auf der Grundlage einer 5G Standalone-Architektur begonnen. Der E2E-Aufbau wird für die Dienstleistungsanforderungen von Eisenbahnen optimiert und nutzt die MCX-Funktionen von 3GPP. Dieser dient als Plattform, um Sprache und ETCS über FRMCS zu testen sowie künftige Bahnanwendungen wie ATO und datenintensive und latenzkritische Sensor- und Videoübertragung zu integrieren.
- Im Zeitraum 2020 bis 2023 spielt das Testfeld eine zentrale Rolle im EU-Projekt 5GRail [7], welches im Rahmen des Programms Horizon 2020 gefördert wird. 18 europäische Partner arbeiten zusammen, um die erste Version der FRMCS-Standardspezifikationen durch die Entwicklung von strecken- und fahrzeugseitigen Prototypen für das FRMCS-Ökosystem zu validieren. Die DSD leitet hierbei die Feldtestaktivitäten im Projekt.

4 Zusammenfassung

Der Bahnsektor und insbesondere die DSD befinden sich auf dem Weg zu einem hohen Automatisierungsgrad im Bahnbetrieb, der eine leistungsfähige und zukunftssichere Mobilfunkinfrastruktur erfordert. Hierfür arbeiten Bahn und Industrie derzeit an der Einführung des 5G-basierten FRMCS als Nachfolger der heutigen GSM-R-Technologie. DB engagiert sich stark in der FRMCS-Standardisierung sowie in F&E-Kooperationen und Feldtests für FRMCS. Erste reale FRMCS-Messungen, die im Digitalen Testfeld Bahn der DB durchgeführt wurden, zeigen vielversprechende Ergebnisse und tragen zur Einführung eines leistungsstarken und effizienten FRMCS-Systems in Europa bei. ■

by means of the development of trackside and onboard prototypes for the FRMCS ecosystem. DSD is in this project leading the field trial activities

4 Summary

The railway sector and in particular DSD are on the path to a high degree of automation in rail operations, which will require a powerful and future-proof wireless connectivity infrastructure. As such, railways and the industry are currently working towards introducing the 5G-based FRMCS as the successor to today's GSM-R technology. Due to DSD's ambitious timeline for the introduction of high grades of railway automation, DB is currently highly engaged in FRMCS standardisation, as well as R&D collaborations and FRMCS field testing. The first FRMCS real-world measurements obtained in DB's Digital Rail Testbed have shown promising results and contributed towards the rollout of a high-performing and efficient FRMCS system in Europe. ■

AUTOREN | AUTHORS

Dr. Patrick Marsch
Lead Platform Development
Digitale Schiene Deutschland / *Digital Rail Germany*
E-Mail: patrick.marsch@deutschebahn.com

Dr. Richard Fritzsche
Lead Connectivity Circle
Digitale Schiene Deutschland / *Digital Rail Germany*
E-Mail: richard.fritzsche@deutschebahn.com

Bernd Holfeld
FRMCS Testbed & Trials Coordinator
Digitale Schiene Deutschland / *Digital Rail Germany*
E-Mail: bernd.holfeld@deutschebahn.com

Dr. Fang-Chun Kuo
FRMCS Standardisation Coordinator
Digitale Schiene Deutschland / *Digital Rail Germany*
E-Mail: fang-chun.kuo@deutschebahn.com

Alle Autoren / *all authors*:
DB Netz AG
Anschrift / *Address*: Stresemannstraße 123 A, D-10963 Berlin

LITERATUR | LITERATURE

- [1] 3GPP TS 22.289 – Mobile Communication System for Railways v17.0.0, Dec. 2019
- [2] EU Commission Implementation Decision 2021/1730, Sept. 2021
- [3] ETSI TR 103.459 - Future Rail Mobile Communication System (FRMCS); Study on system architecture, v1.2.1, Aug 2020
- [4] Krantzik, A.; Vrieling, A.: Zukunft des Bahnfunks: Migration von GSM-R zu FRMCS, erscheint in Ausgabe: SIGNAL+DRAHT 04/2022
- [5] <https://digitale-schiene-deutschland.de/FRMCS-Forschungsprojekte>, Zugriff: 02.11.2021, 16:00
- [6] <https://digitale-schiene-deutschland.de/Digitale-S-Bahn-Hamburg>, Zugriff: 29.10.2021, 13:00
- [7] <https://5grail.eu/>, Zugriff: 29.10.2021, 13:00




Dispatcher Terminals – new generation




RailPAD / comPAD-M Dispatcher
comPAD-S Dispatcher

www.wenzel-elektronik.de