

Überbrückungsstrategien bis zur Einführung von FRMCS

Provisional strategies until the introduction of FRMCS

Amelie Wimpffen | Thorsten Büker | Silvio Döring | Matthias Becker | Bernd Potthoff

Die heutigen bahnbetrieblichen Digitalfunksysteme basieren in der Regel auf dem Standard GSM-R (Global System for Mobile Communications – Rail), einer speziell auf die Bedürfnisse des Eisenbahnverkehrs ausgerichteten Spezifikation des GSM-Standards der zweiten Generation. Gemeinsam mit ETCS (European Train Control System) bildet GSM-R heute das European Rail Traffic Management System (ERTMS). Mit dem zu erwartenden Roll-out von ETCS Level 2 (L2) (oder höher) stößt das System in den nächsten Jahren funkseitig zunehmend an seine technischen Grenzen. Die Herausforderung liegt darin, sowohl neue Funktionalitäten als auch die Anzahl der Züge pro Zelle und – perspektivisch – die Bandbreite zu erhöhen und die Latenz zu verringern. Übergangsweise soll dazu bereits in Bahnknoten mit hohem Verkehrsaufkommen GPRS (General Packet Radio Service) nachgerüstet werden. Mit der Entscheidung des UIC (Internationaler Eisenbahnverband), das Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) auf einem 5G-Standard einzuführen und damit GSM-R abzulösen, sollen durch geringe Latenzzeiten und eine bessere Nutzung des Mobilfunkfrequenzbandes sowohl die Kapazitäts- als auch die Kanalengpässe gelöst werden.

1 Grundlagen

GSM-R basiert auf einem leitungsvermittelten Datendienst (Circuit Switched Data, CSD), der pro Gespräch/Verbindung einen Zeitschlitz benötigt. Wie in Bild 1 dargestellt, können je Funkzelle ein oder mehrere Trägerfrequenzen (aus insgesamt 19 verfügbaren, oder auch mehr unter Anwendung von E-GSM-R) installiert werden. Jede Frequenz wird in acht Zeitschlitze aufgeteilt. Damit sind bis zu sieben Verbindungen bei einem Steuersignal gleichzeitig möglich. Die Datenverbindungen sind in ETCS ab L2 permanent zwischen Fahrzeug und Infrastruktur sicherzustellen und im Sprachfunk nur fallweise notwendig. Da diese perma-

Today’s digital radio systems for railway operations are usually based on the GSM-R standard (Global System for Mobile Communications - Rail), a specification from the second generation GSM standard specifically geared to the needs of railway operations. Together with ETCS (European Train Control System), GSM-R now forms the European Rail Traffic Management System (ERTMS). The system will increasingly come up against its technical limits in terms of wireless technology with the expected rollout of ETCS Level 2 (L2) (or higher). The challenge lies in the new functionalities and the number of trains per cell and, with an eye to the future, increased bandwidth and reduced latency. GPRS (General Packet Radio Service) is to be temporarily retrofitted in railway nodes with high traffic volumes for this purpose. The decision of the UIC (International Union of Railways) to introduce the Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) on a 5G standard and thus replace GSM-R will resolve both the capacity and channel bottlenecks by means of low latency times and the better use of the mobile radio frequency band.

1 Background

GSM-R is based on a circuit-switched data service (CSD) that requires one time slot per call/connection. As shown in fig. 1, one or more carrier frequencies (from a total of 19 available – or even more when using E-GSM-R) can be installed per radio cell. Each frequency is divided into eight time slots. This means that up to seven connections are possible simultaneously with one control signal. Permanent data connections have to be secured between the vehicle and the infrastructure from ETCS L2, but are only necessary on a case-by-case basis in radiotelephony. Since this permanent CSD con-

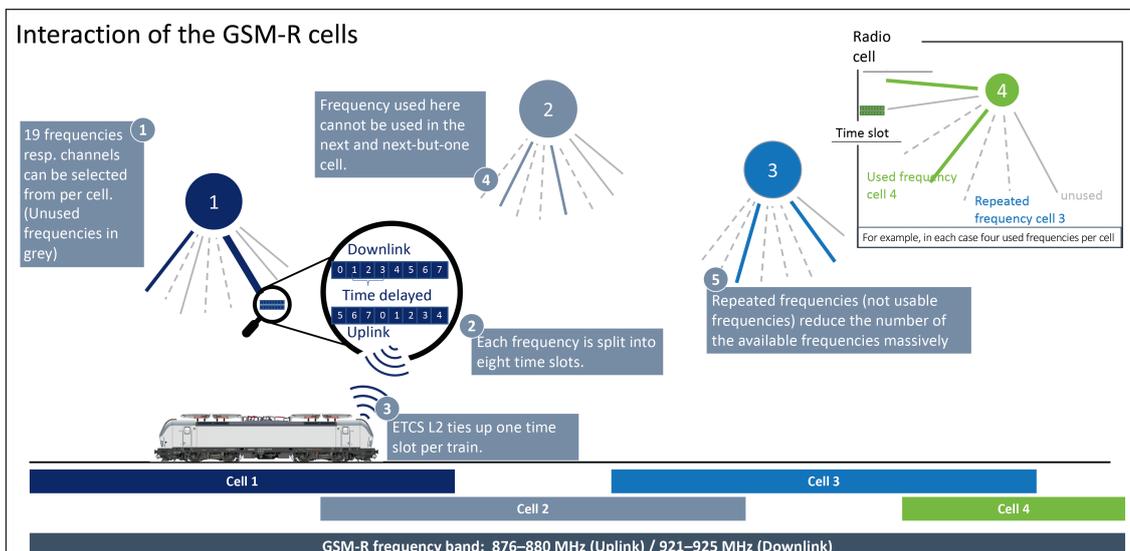


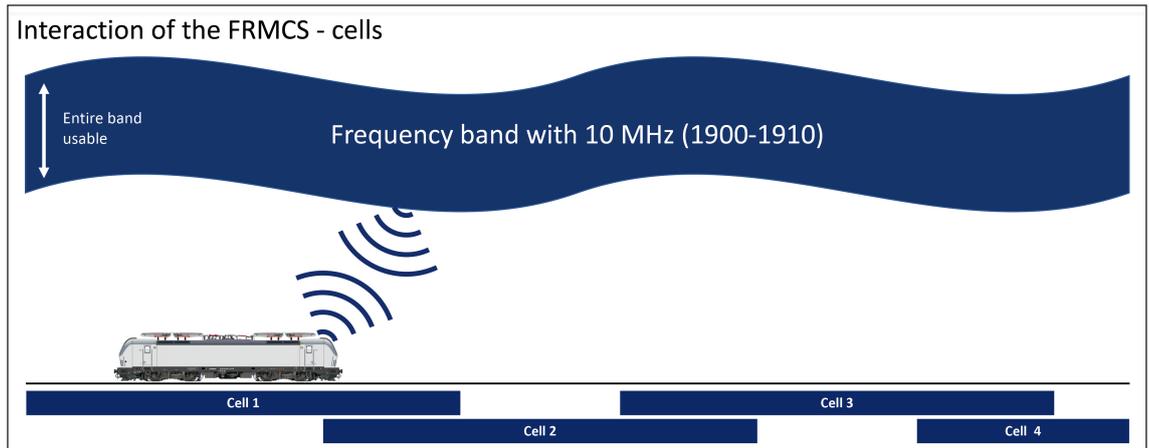
Bild 1: Darstellung von Interaktionen innerhalb von GSM-R-Zellen

Fig. 1: Demonstration of interactions within GSM-R cells

Quelle/ Source: Quattron

Bild 2: Darstellung der Interaktion innerhalb einer FRMCS-Zelle

Fig. 2: Demonstration of the interaction within an FRMCS cell
Quelle / Source: Quattron



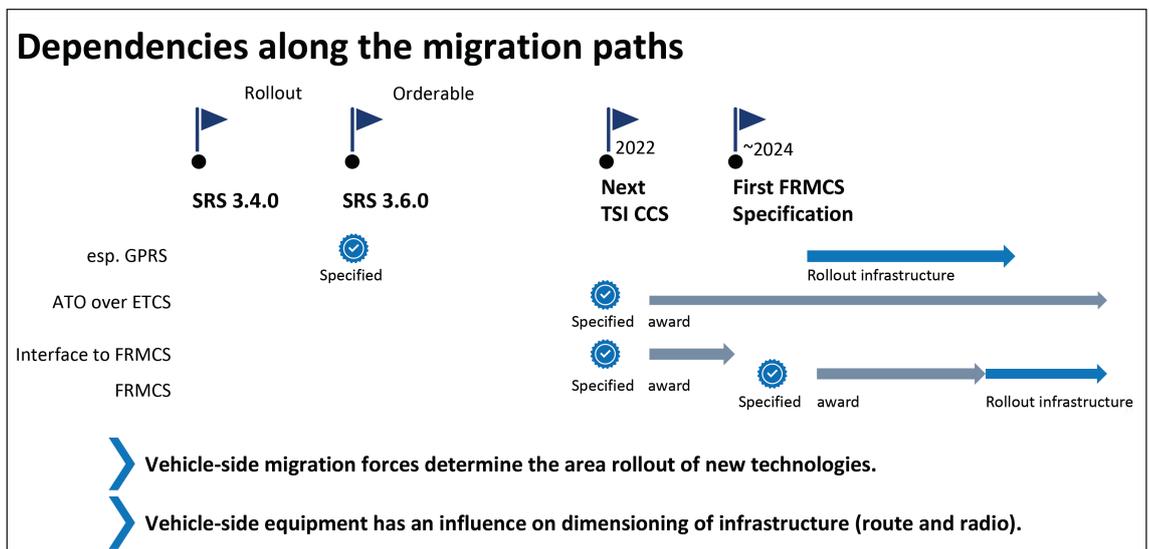
nente Verbindung im CSD unabhängig von deren Auslastung belegt wird, wurde mittlerweile eine Nachrüstung mit einem paketvermittelten Datendienst (Packet Switched Data, PSD) durch GPRS gestartet. Bei diesem ist keine dauerhafte Belegung eines Zeitschlitzes für ein Gespräch oder Datenfunk nötig, sondern PSD ermöglicht mit einer Bündelung von Kanälen und Paketvermittlung eine intensivere Nutzung der Übertragungskapazität durch Datenpakete. Eine mit GPRS ausgerüstete Zelle kann beide Verfahren, PSD und CSD, zur Verfügung stellen. Dieses Mischverhältnis von PSD und CSD kann jedoch nicht dynamisch angepasst werden, sondern ist jeweils passfähig zu den auf der Strecke verkehrenden Zügen zu wählen. Im PSD unter GPRS ist weniger die Anzahl der Verbindungen die Herausforderung als die begrenzte Datenmenge in dieser als 2,5 G bezeichneten Technologie. Um sowohl die Anforderungen zukünftiger Anwendungen an benötigtem Datenvolumen als auch die Anzahl der Verbindungen, bereitzustellen, wird FRMCS eingeführt. Als PSD basierend auf der 5G-Technologie ändert sich mit der Einführung von FRMCS auch die Interaktion in den einzelnen Zellen grundlegend (Bild 2).

Zur Migration von GSM-R zu FRMCS müssen sowohl die Strecke als auch die Fahrzeuge umgerüstet werden. Hier sollte ein schrittweises Vorgehen verfolgt werden, wobei die Fahrzeuge und die Strecken in unterschiedlichem Tempo ausgerüstet werden. Fahrzeugseitig wird dabei unter Umständen eine mehrfache Migration notwendig: Bild 3 zeigt, dass die Ausrüstung von Fahrzeugen gemäß SRS 3.4.0 (System Requirement Specifications) derzeit be-

nection is occupied regardless of its load, retrofitting with a packet-switched data service (PSD) through GPRS has now begun. This does not require the permanent occupancy of a time slot for a call or radio data transmission. Rather, PSD enables more intensive use of the transmission capacity through data packets by means of bundling channels and packet switching. A cell equipped with GPRS can provide both methods, PSD and CSD. However, this mixed PSD/CSD ratio cannot be adjusted dynamically, but must be selected to suit the trains running on the route. In PSD under GPRS, the number of connections is less of a challenge than the limited amount of data in this technology designated as 2.5 G. FRMCS has been introduced to meet the requirements of future applications in terms of the required data volume and the number of connections. As a PSD based on 5G technology, the introduction of FRMCS will also fundamentally change the interaction in the individual cells (fig. 2). Both the route and the vehicles will have to be converted in order to migrate from GSM-R to FRMCS. A step-by-step approach should be followed here, whereby the vehicles and the routes are equipped at different speeds. Multiple migrations may be necessary on the vehicle side: Fig. 3 shows that vehicles are currently being equipped in accordance with SRS 3.4.0 (System Requirement Specifications). However, GPRS requires equipment in accordance with SRS 3.6.0. "ATO over ETCS" is also only specified with TSI 2022 and the onboard unit will then require a further upgrade. However, this will not yet include FRMCS.

Bild 3: Abhängigkeiten entlang der Migrationspfade

Fig. 3: Dependencies along the migration paths
Quelle / Source: Quattron



Vehicle-side migration forces determine the area rollout of new technologies.
Vehicle-side equipment has an influence on dimensioning of infrastructure (route and radio).

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für quattron management consulting / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DW Media Group GmbH

reits stattfindet. Für GPRS wird jedoch eine Ausrüstung gemäß SRS 3.6.0 benötigt. Auch „ATO over ETCS“ wird erst mit TSI 2022 spezifiziert und die Onboard-Unit benötigt danach ein abermaliges Upgrade. Darin wird jedoch FRMCS noch nicht enthalten sein.

2 FRMCS als Basis für bahnbetriebliche Anwendungen

Die Funktechnologie FRMCS soll Grundlage für Kapazitätssteigerungen und eine Vielzahl an neuen bahnbetrieblichen Anwendungen werden. Bereits heute gibt es Kapazitätsengpässe in den großen Knoten, welche durch Signalisierung und Zugsicherung nicht aufgelöst werden können, da die konventionelle Außensignalisierung keine kürzere Zugfolgezeit erlaubt. ETCS L2 eröffnet zwar die Möglichkeit, mithilfe von gezielten Blockverdichtungen die Kapazität zu erhöhen [2], erfordert jedoch mindestens GSM-R für eine kontinuierliche Kommunikation zwischen ETCS-Streckenausrüstung und Zug. Die für einen ETCS L2-Betrieb notwendige Anzahl an Zeitschlitzten kann aufgrund der limitierten Anzahl von Funkkanälen in diesen Bereichen häufig nicht bereitgestellt werden. Außerdem wird durch Blockoptimierungen bis zum Hochleistungsblock das zu übertragende Datenvolumen gesteigert, da häufiger Fahrterlaubnisse (Movement Authorities) zu übertragen sind. Mit dieser Übertragungslast kommt GSM-R an seine Grenzen. Diese Herausforderung kann mit der Einführung von FRMCS gelöst werden (Bild 4).

Eine weitere bahnbetriebliche Anwendung, die erst durch FRMCS in nennenswertem Ausmaß ermöglicht wird, ist der automatisierte Bahnbetrieb (Automatic Train Operation, ATO). Dessen verschiedene Automatisierungsgrade bedingen neue Anforderungen an die Verfügbarkeit des Informationsaustauschs zwischen den streckenseitigen Einrichtungen (ATO-TS, dahinter TMS) und dem Zug (ATO-OB). Diese Datenübertragung muss, je nach Ausprägung (Grade of Automation, GoA) in nahezu Echtzeit mit sehr geringen Latenzzeiten geschehen. FRMCS eröffnet durch einen massiven Zuwachs an Bandbreite und geringe Latenzzeiten neue Ausprägungen des automatisierten Bahnbetriebs (ATO > GoA 2).

3 Engpässe durch Auslaufen von GSM-R und verzögerte Einführung von FRMCS

Während der Funkstandard GSM-R bis 2030 von den Herstellern abgekündigt ist, wird FRMCS bis dahin nicht vollständig ausgerollt sein. Die derzeitige Planung sieht eine abgeschlossene Spe-

2 FRMCS as the basis for railway operations

FRMCS radio technology is due to become the basis for increased capacity and a large number of new railway operations. There are already capacity bottlenecks in large nodes that cannot be resolved by signalling and train control, since conventional outside signalling does not allow for shorter headways. ETCS L2 opens up the possibility of increasing capacity with the help of targeted block densification [2], but requires at least GSM-R for the continuous communication between the ETCS line equipment and the train. The number of time slots required for ETCS L2 operations often cannot be provided due to the limited number of radio channels in these areas. In addition, block optimisations up to high-performance blocks increase the volume of data to be transmitted, since the movement authorisations have to be transmitted more frequently. GSM-R reaches its limits with this transmission load. This challenge can be solved with the introduction of FRMCS (fig. 4).

Another type of train operation that is only made possible to a significant extent by FRMCS is automatic train operation (ATO). Its different degrees of automation result in new requirements for the available information exchange between the trackside facilities (ATO-TS, behind it TMS) and the train (ATO-OB). Depending on the specification (Grade of Automation, GoA), this data transmission must take place almost in real time with very low latency. FRMCS opens up new forms of automated rail operations (ATO > GoA 2) thanks to its massive increase in bandwidth and low latency times.

3 Bottlenecks due to the phase-out of GSM-R and the delayed introduction of FRMCS

While manufacturers intend to discontinue the GSM-R radio standard by 2030, FRMCS will not have been fully rolled out by then. Current planning provides for a completed FRMCS specification by 2024. At least another year will then be required before an award can be made. The nationwide rollout can therefore begin in 2025 and will probably take between seven and eight years. According to the outlined preliminary schedule, there must be a phase between the use of FRMCS and the obsolescence of GSM-R, in which an interim solution is needed, as fig. 5 clearly shows.

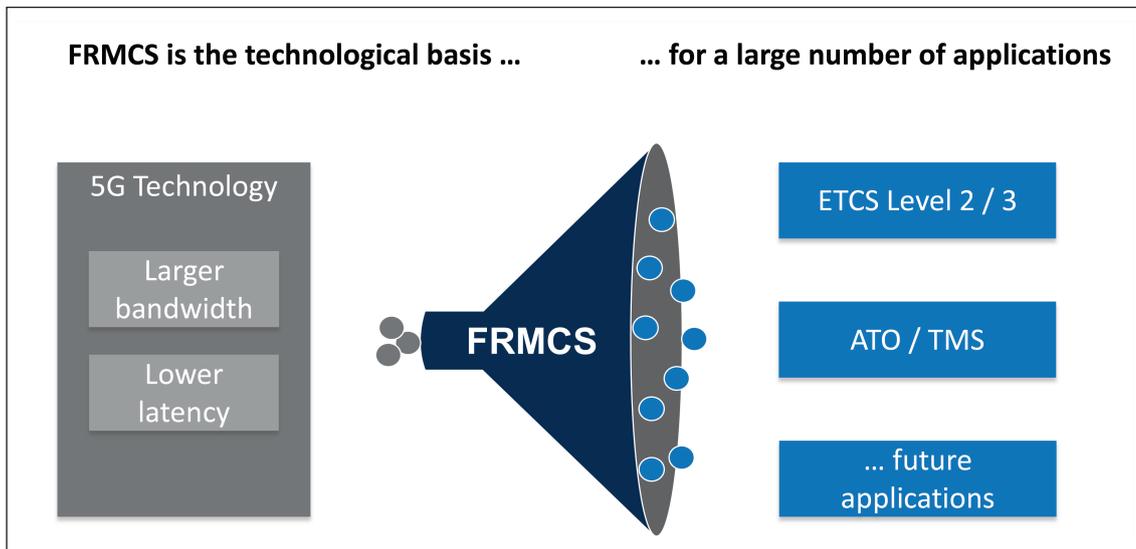
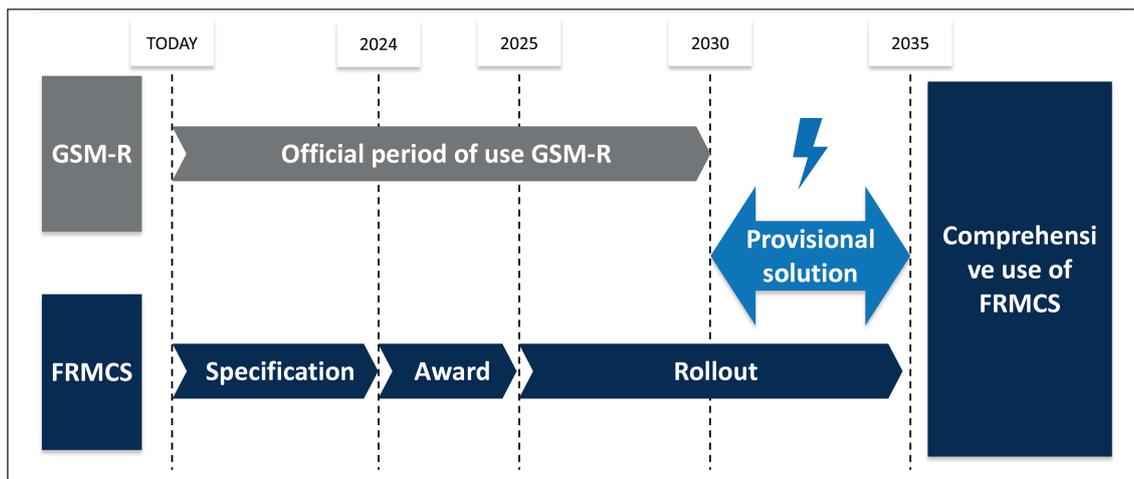


Bild 4: Neue Anwendungen durch FRMCS
 Fig. 4: New applications through FRMCS
 Quelle / Source: Quattron

Bild 5: Zeitliche Darstellung der Einführung von FRMCS

Fig. 5: Chronological presentation of the introduction of FRMCS

Quelle / Source: Quattron



zifikation von FRMCS bis 2024 vor. Bis zur Vergabe wird mindestens ein weiteres Jahr benötigt. Der Beginn des flächendeckenden Roll-outs ist damit ab 2025 möglich und dauert vermutlich zwischen sieben und acht Jahren. Nach diesem skizzierten vorläufigen Zeitplan muss es zwischen dem Einsatz von FRMCS und der Obsoleszenz von GSM-R eine Phase geben, in der eine Übergangslösung gebraucht wird, wie Bild 5 verdeutlicht.

Gründe für die Verzögerung von FRMCS sind zum einen Spezifikations- sowie Planungs- und Umsetzungsverzögerungen u. a. durch die derzeitige Corona-Situation. Doch auch unabhängig dessen ist eine Migration von GSM-R zu FRMCS nicht in einem Schritt für das gesamte Netz ratsam. Vielmehr ist ein Migrationspfad zu entwickeln, der die Umrüstung der Fahrzeuge und der Strecke koordiniert (Bild 3). Selbst wenn alle Fahrzeuge, die auf den zukünftig mit FRMCS auszurüstenden Strecken vollständig vorab für einen Betrieb in beiden Systemen ausgerüstet würden, könnte das Funknetz betrieblich nur schrittweise in Betrieb genommen werden. Dadurch wären aber während der Migrationsphase beide Funknetze zu betreiben. Somit stünden die aktuell mit GSM-R genutzten Frequenzen nicht für die Nutzung von FRMCS zur Verfügung. Es sollte deswegen eine Frequenzplanung entwickelt werden, die eine optimale Nutzung der verfügbaren Frequenzbänder von GSM-R und FRMCS für eine Migration ermöglicht.

Die Einführung von FRMCS ist abhängig von einigen zusätzlichen Maßnahmen, insbesondere der Verfügbarkeit eines Glasfaser-Festnetzes, und stellt den zeitlichen Übergang damit vor einige Herausforderungen. Eine wesentliche Voraussetzung für die Nutzung von 5G-Technologie in den künftigen FRMCS-Netzen ist eine Verfügbarkeit von Bandbreiten und Latenzzeiten nicht nur funkseitig, sondern auch in den entsprechenden Festnetzen zur Anbindung der FRMCS-Standorte. Für solche Festnetzanbindungen sind Kupferkabel als Übertragungsmedium nicht mehr geeignet. Vielmehr erfordert eine technisch sinnvolle Anbindung eines FRMCS-Standortes zugleich das Vorhandensein einer entsprechenden Glasfaserinfrastruktur. Für die zeitliche Planung der FRMCS-Einführung und des vorherigen Netz-Roll-outs ist daher eine vorgelagerte oder zumindest gleichzeitige Verlegung von LWL-Kabeln (Lichtwellenleiter aus Glasfaser) unabdingbar. In Deutschland sind beispielsweise die 33.000 km Schienenwege der DB Netz AG aktuell mit etwas unter 19.000 km zu fast zwei Dritteln mit Glasfaser ausgestattet. Weitere knapp 6.000 km plant die Deutsche Bahn AG (DB) in den nächsten Jahren selbst auszubauen und für weitere über 8.000 km werden kommerzielle Ausbaupartner gesucht, um Synergien aus dem LWL-Ausbau für den Bahnbetrieb und einer kommerziellen Nutzung (über getrennte Kabel) zu realisieren. Dabei findet der Glasfaserausbau, eben-

The reasons for the delays in FRMCS are the specifications, as well as planning and implementation delays due to the current Coronavirus situation. However, regardless of this, it is not advisable to migrate the entire network from GSM-R to FRMCS in one step. Rather, a migration path has to be developed that coordinates the conversion of the vehicles and the routes (fig. 3). Even if all the vehicles on the routes that have to be equipped with FRMCS in the future were fully equipped in advance for operations in both systems, the radio network could still only be brought into operation gradually. As a result, however, both radio networks would have to be operated during the migration phase. The frequencies currently used for GSM-R would therefore not be available for use by FRMCS. Frequency planning should therefore be developed in order to enable the optimal use of the available GSM-R and FRMCS frequency bands for migration.

The introduction of FRMCS is dependent on a few additional measures, in particular the availability of a fibre optic fixed network, and it therefore poses a number of challenges for the transition over time. An essential prerequisite for the use of 5G technology in future FRMCS networks involves the availability of bandwidths and latency times, not only on the radio side, but also in the corresponding fixed networks for connection to the FRMCS locations. Upstream or at least simultaneous laying of the fibre optic cables is essential for the timing of the introduction of FRMCS. In Germany, for example, almost two thirds of the 33,000 km of rail routes operated by DB Netz AG, at just under 19,000 km, are currently equipped with fibre optics. Deutsche Bahn AG (DB) plans to expand almost 6,000 km more itself in the next few years and commercial partners are being sought for a further 8,000 km in order to realise synergies from the expansion of fibre optic cables for rail operations and commercial use (via separate cables). The fibre optic expansion, as well as the future FRMCS rollout, are taking place under the difficult conditions of "ongoing operations" with special challenges such as the need for track closures during construction work in the safety area. This inevitably leads to considerably longer construction times than when laying fibre optics in public spaces outside rail operations.

In addition to the previously described delays in the introduction and specification of FRMCS itself, the need for a fibre optic infrastructure also leads to dependencies. It is therefore to be expected that some of the technological requirements according to FRMCS (ETCS L2 in the nodes, ATO) and some of the system dependencies of GSM-R will arise before the railway lines have been fully covered by FRMCS. Railway infrastructure com-

so wie ein künftiger FRMCS-Roll-out, unter erschwerten Bedingungen des „Bauens unter dem rollenden Rad“ statt, mit den besonderen Herausforderungen wie beispielweise der Notwendigkeit von Sperrpausen bei Baumaßnahmen im Sicherheitsbereich. Dies führt zwangsläufig zu erheblich längeren Bauzeiten als bei einer Glasfaserverlegung im öffentlichen Raum außerhalb des Bahnbetriebs.

Neben den zuvor geschilderten Verzögerungen in der Einführung und Spezifikation von FRMCS selbst, führt somit auch die Notwendigkeit einer Glasfaserinfrastruktur zu Abhängigkeiten. Daher ist zu erwarten, dass ein Teil der technologischen Bedarfe nach FRMCS (ETCS L2 in Knoten, ATO) sowie ein Teil der Systemabhängigkeiten von GSM-R zeitlich bereits vor einer flächendeckenden Ausleuchtung der Bahnstrecken mit FRMCS eintreten werden. Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) sind daher gefordert, für solche Zwischenzeiträume entsprechende Überbrückungsstrategien zu entwickeln.

4 Überbrückungslösungen bis zur flächendeckenden Ausleuchtung mit FRMCS

Im Folgenden werden sowohl aus kaufmännischer als auch aus technischer Sicht verschiedene Überbrückungsstrategien aufgezeigt, die für einen Übergangszeitraum des Technologiewechsels dienen können. Dabei ist zu bedenken, dass neben der infrastrukturseitigen Ausrüstung auch fahrzeugseitige Migrationsstufen zu berücksichtigen sind. Bild 6 gibt einen Ausblick auf die nachfolgend beschriebenen Ansätze.

Aus kaufmännischer Sicht sollte sowohl eine Anpassung der Rückbauplanung von GSM-R als auch die Adaption der Ausbauplanung von FRMCS geprüft werden. Mit Blick auf Erstere ist bei einer Notwendigkeit der Aufrechterhaltung von Systemen über deren Lebenszyklus hinaus (im Rahmen eines aktiven Obsoleszenzmanagements) frühzeitig zu planen, für welche Systemkomponenten ein investiver Ansatz und für welche ein Ansatz basierend auf verstärkter Instandhaltung / -setzung gewählt wird. Bei einem investiven Ansatz sind zunächst die Lieferverpflichtungen mit den Herstellern, soweit möglich, zu verlängern sowie Preise zu sichern. Dies muss so frühzeitig geschehen, dass keine preisliche „Erpressbarkeit“ mangels alternativer Vorgehensweisen entstehen kann. Ein Ansatz basierend auf Instandhaltung / -setzung erfordert eine frühzeitige Bevorratung mit entsprechenden Teilkomponenten und Ersatzteilen mit dazugehörigen Lager- und Logistikkonzepten. Generell gibt es nicht den einen richtigen oder falschen Weg, vielmehr ist eine Analyse der einzelnen Komponenten mit ggf. unterschiedlichen Ergebnissen erforderlich. Hierbei können auch förderrechtliche Aspekte eine wesentliche Rolle spielen – je nachdem, ob für ein EIU von öffentlicher Seite nur Erst-Investitionen, auch Re-Investitionen oder sogar ebenfalls Betriebskosten (zu denen Aufwendungen für Instandhaltung / -setzung zumeist gehören) förderfähig sind.

Wie bereits dargelegt, erfordert der FRMCS-Roll-out auch eine enge Verknüpfung mit einem Ausbau der Glasfaserinfrastruktur entlang der Schienenwege. Daher müssen beide Roll-out-Strategien zwingend ineinandergreifen, sodass vorgezogene FRMCS-Ausrüstungen (z. B. zur Herstellung von ETCS L2 in Knoten) auch im Glasfaser-Roll-out berücksichtigt werden müssen. Gleichzeitig ist die Abhängigkeit von der fahrzeugseitigen Ausrüstung zu beachten. Hier könnten ggf. (Förder-) Mechanismen erstellt werden, um eine Passfähigkeit der Roll-out-Strategien zu erwirken.

Aus technischer Sicht bieten sich vier verschiedene Lösungsstrategien bzw. Blickwinkel. Diese zielen auf die Migration der Funksysteme, die gesonderte Behandlung von Nebenstrecken, die Auslagerung bestimmter Dienste, sowie eine Übergangsnutzung

panies are therefore required to develop appropriate provisional strategies for such intermediate periods.

4 Provisional solutions until comprehensive coverage with FRMCS is achieved

In the following section, various provisional strategies that can serve in the transition period are presented from both a commercial and a technical point of view. It should be noted that vehicle-side migration levels must also be taken into account in addition to the infrastructure-side equipment. Fig. 6 provides a view of the approaches described below.

From a commercial point of view, both the adaptation of the GSM-R dismantling planning and the adaptation of the expansion planning for FRMCS should be examined. In the case of the former, should it prove necessary to maintain the systems beyond their lifecycles (within the framework of active obsolescence management), it will be necessary to plan the system components requiring an investment approach and the approach based on increased maintenance / repairs at an early stage. In the case of an investment approach, the delivery obligations with the manufacturers must first be extended as far as possible and prices must be secured. This has to be done sufficiently in advance so that no “blackmail” can arise due to a lack of alternative approaches. A maintenance / repair based approach requires the early stockpiling of the appropriate components and spare parts with the associated storage and logistics concepts. In general, there is no one right or wrong way. Rather, an analysis of the individual components with possibly different results is required. Subsidy-related aspects can also play an important role here depending on whether only the initial investments and re-investments or even the operating costs (which mostly include the maintenance / repair expenses) of the railway infrastructure company are eligible for funding.

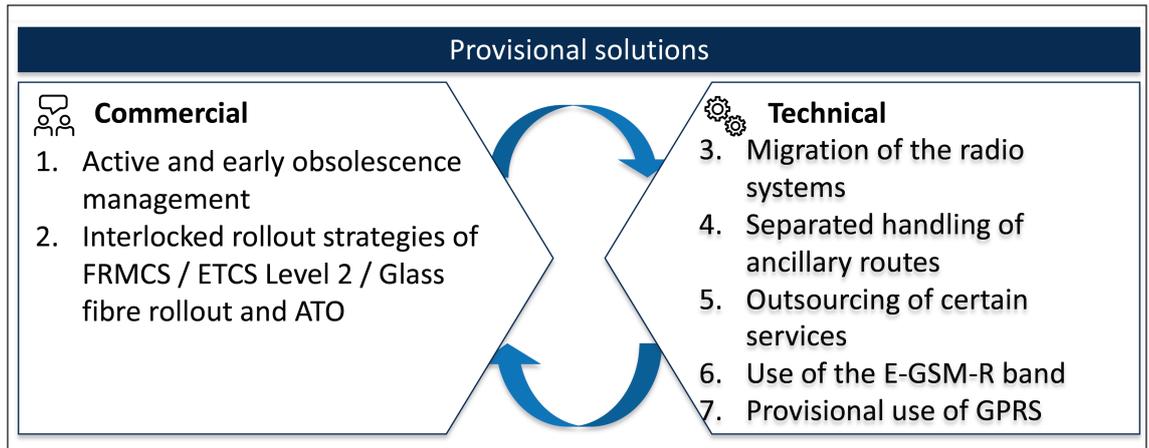
As has already been explained, the FRMCS rollout also requires the expansion of the fibre optic infrastructure along the railways. It is therefore imperative that both rollout strategies interlock so that the FRMCS equipment that is brought forward (e.g. for the production of ETCS L2 in the nodes) must also be taken into account during the fibre optic rollout. At the same time, the dependency on the vehicle equipment must also be taken into account. If necessary, (funding) mechanisms could be created to ensure that the rollout strategies are suitable.

From a technical point of view, there are four different solution strategies or perspectives. These are aimed at the migration of radio systems, the separate treatment of branch lines, the outsourcing of certain services and the transitional use of GSM-R in areas where FRMCS would already be necessary. When prioritising the changeover from a CSD to a PSD, a balance would have to be achieved between the number of trains per cell and the required data volume per train. A sensible allocation would then depend on how many vehicles were still running with a specification lower than SRS 3.6.0 and thus a CSD. More radio capacity would have to be available with a higher proportion of vehicles using a CSD service. In addition, the idea of interoperability is partly torpedoed by the fact that foreign locomotives cannot use all the E-GSM-R frequency bands.

Certain radio services could also be (temporarily) outsourced to private or public network operators. The aim here would be to ensure that less of the company’s own radio capacities would be required overall. In the case of DB, the network slicing would probably have to be financed from its own resources. It should be noted that the use of private infrastructure by

Bild 6: Überbrückungslösungen bis zur flächendeckenden Ausführung von FRMCS

Fig. 6: Provisional solutions until the comprehensive implementation of FRMCS
 Quelle / Source: Quattron



von GSM-R in Bereichen, in denen bereits FRMCS nötig wäre. Bei der Priorisierung der Umstellung von leitungsvermitteltem Datendienst (CSD) zu paketvermitteltem Datendienst (PSD) müsste eine Abwägung getroffen werden zwischen der Anzahl der Züge pro Zelle und dem benötigten Datenvolumen pro Zug. Eine sinnvolle Zuteilung wäre dann davon abhängig, wie viele Fahrzeuge noch mit einer niedrigeren Spezifikation als SRS 3.6.0 und damit CSD verkehren. Bei einem hohen Anteil der mit CSD verkehrenden Fahrzeuge müsste jeweils mehr Funkkapazität zur Verfügung stehen. Zusätzlich ist der Gedanke der Interoperabilität in Teilen dadurch torpediert, dass ausländische Triebfahrzeuge nicht alle Frequenzbänder aus E-GSM-R nutzen können. Ebenso könnten (vorübergehend) bestimmte Funk-Dienste an private oder auch öffentliche Netzbetreiber ausgelagert werden. Das Ziel wäre dabei, dass insgesamt weniger eigene Funk-Kapazitäten benötigt würden. Im Hinblick auf die DB müsste das Network-Slicing voraussichtlich aus Eigenmitteln finanziert werden. Dabei ist zu beachten, dass eine Nutzung der privaten Infrastruktur durch die Bahn aufgrund von Anforderungen an Latenz und Sicherheitslevel nur begrenzt möglich ist. Hier wäre es denkbar, dass vorübergehend nicht-sicherheitsrelevante Dienste über private Netze abgewickelt werden. Im Bereich von ATO wäre dies beispielsweise bis zum teilautomatisierten Fahren (GoA 2) denkbar. Erst ab dem fahrerlosen Fahren (GoA 3) sind die Anforderungen an die Latenzzeiten und die Sicherheitsrelevanz der Datenübertragung höher,

the railways is only possible to a limited extent due to the latency and security level requirements. It would be conceivable that temporarily non-security-related services could be handled via private networks. In the area of ATO, for example, this would be conceivable up to partially automated driving (GoA 2). Only from driverless driving (GoA 3) onwards are the latency requirements and the security relevance of the data transmissions higher, since fully automatic train operation regularly requires monitoring by an operations control centre (OCC), so this service is no longer expected to be processed via private infrastructure. Another provisional solution concerns the expanded use of GSM-R with GPRS in areas where FRMCS would actually be necessary. A temporary reduction in radio traffic is conceivable here, so that it can still be handled by GSM-R/GPRS. This means that the control and safety technology could be dimensioned in such a way that it could also be used with FRMCS, even if it was only introduced years later. Block optimisations up to high-performance blocks result in additional radio data traffic, as additional travel permits and train position reports are sent for each signal (light signal, SMB or block identifier). One approach to mapping this additional radio traffic, even without the 5G FRMCS standard, would be to mask selected signals in the RBC. Masked signals would, however, thwart the goal of compacting the blocks to increase capacity.



Störfestes GSM-R-Funkmodul | Interference-resistant GSM-R radio module

FUNKWERK MT5E

Profitieren Sie jetzt beim Austausch bestehender GSM-R-Funkmodule von bis 100 % Bundes-Förderung. Benefit now from up to 100 % federal funding when replacing existing GSM-R radio modules.

Wir sind Ihr Partner für die Umrüstung. We are your partner for exchange.

» T. +49 3635 458-500 | M. gsmr-upgrade@funkwerk.com



Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für quattron management consulting /
 Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DW Media Group GmbH

da vollautomatischer Zugbetrieb regelmäßig eine Überwachung durch eine Betriebszentrale (Operation Control Center, OCC) voraussetzt, sodass dieser Dienst nicht mehr über private Infrastruktur abgewickelt werden dürfte.

Eine weitere Überbrückungslösung betrifft die ausgeweitete Nutzung von GSM-R mit GPRS in Bereichen, in denen eigentlich FRMCS nötig wäre. Hier ist ggf. eine temporäre Reduktion des Funkverkehrs denkbar, damit dieser noch von GSM-R/GPRS bewältigt werden könnte. Damit könnte die Leit- und Sicherungstechnik so dimensioniert werden, dass sie mit FRMCS ebenfalls nutzbar ist, auch wenn die Einführung erst Jahre später erfolgt. Durch Blockoptimierungen bis zum Hochleistungsblock entsteht zusätzlicher Datenfunkverkehr, da für jedes Signal (Lichtsignal, Ne 14 oder Blockkennzeichen) zusätzliche Fahrterlaubnisse sowie Train Position Reports gesendet werden. Ein Ansatz, diesen zusätzlichen Funkverkehr auch ohne den 5G-Standard von FRMCS kapazitiv abzubilden, wäre eine Maskierung von ausgewählten Signalen im RBC. Durch maskierte Signale würde allerdings das Ziel der Blockverdichtung zur Kapazitätssteigerung konterkariert.

5 Ausblick

Für die Umsetzung der im vorherigen Kapitel dargelegten Überbrückungsstrategien zur Einführung von FRMCS lassen sich konkrete Schritte ableiten. Aus der kaufmännischen Sichtweise sollten der FRMCS-Aufbau, die Migration von GSM-R zu FRMCS und der Glasfaser-Roll-out gesamthaft betrachtet werden. Dabei ist zusätzlich die volle betriebliche Funktionsfähigkeit des bisherigen Systems ggf. unter Nutzung von Übergangslösungen bis zum Abschluss der Migration zu beachten. Zusätzlich wäre es ratsam, eine Komponentenanalyse durchzuführen, die zu einer Entscheidung zwischen investivem oder Instandhaltungs-Ansatz je Komponente führt. Dies ermöglicht dann Verhandlungen mit den Herstellern. In Bezug auf die Migration von GSM-R über oben beschriebene Zwischenstufen zu FRMCS sollte zuallererst ein Migrationskonzept erstellt werden, das sowohl technisch-baulich als auch betrieblich ausgerichtet ist und zugleich Fahrzeug und Infrastruktur übergreifend betrachtet. Wesentlich erleichtert werden könnte die Migration, wenn zusätzliche Frequenzen für die Einführung von FRMCS bestehen. Zunächst sollten die Fahrzeuge für die duale Nutzung der alten und neuen Funktechnologie in Abhängigkeit zur Strecke umgerüstet werden. Mit Blick auf Mehrstufigkeit der fahrzeugseitigen Migration ist dabei zu beachten, die Komponenten des Funks unabhängig von den Komponenten der Zugsicherung austauschen zu können. Daraufaufgehend müsste die Strecke mit zentralen Netzkomponenten und voraussichtlich zusätzlichen Antennenstandorten aufgrund der höheren Frequenz und Bandbreite auch festnetzseitig umgerüstet werden. In der räumlichen/zeitlichen Abfolge der Ausrüstung sind Abhängigkeiten zu den bereits FRMCS-fähigen Fahrzeugen zu beachten. Schließlich könnte FRMCS streckenweise in Betrieb genommen werden. Danach folgt dann der schrittweise Rückbau von GSM-R. ■

LITERATUR | LITERATURE

- [1] UIC Rail System Department: FRMCS and 5G for rail: challenges, achievements and opportunities: https://uic.org/IMG/pdf/brochure_frmcs_v2_web.pdf, 26.01.2021 um 20:30
- [2] UIC – ERTMS (ETCS/EIRENE) MMI: Influence of the European Train Control System (ETCS) on the capacity of nodes: <https://www.shop-etc.com/en/influence-of-the-european-train-control-system-etc-on-the-capacity-of-nodes>, 15.01.2021 um 12:30

5 Outlook

Concrete steps can be derived for the implementation of the provisional strategies for the introduction of FRMCS described in the previous chapter. From a commercial point of view, the FRMCS structure, the migration from GSM-R to FRMCS and the fibre optic rollout should all be considered as a whole. In addition, the full operational functionality of the previous system, possibly using interim solutions, must also be taken into account until the migration is complete. It would also be advisable to carry out a component analysis that leads to a decision between an investment or maintenance approach for each component. This will then enable negotiations with the manufacturers. With regard to the migration from GSM-R to FRMCS via the intermediate stages described above, a migration concept should firstly be created that is both technically, structurally and operationally oriented and at the same time takes a comprehensive look at the vehicles and the infrastructure. The migration could be made much easier, if there were additional frequencies for the introduction of FRMCS. First of all, the vehicles should be converted for the dual use of the old and new radio technology depending on the route. Given the multi-stage migration on the vehicles, it must be ensured that radio components can be exchanged independently of the train protection components. Subsequently, the route would have to be converted with central network components and probably additional antenna locations due to the higher frequency and bandwidth, also on the landline side.

Dependencies on the vehicles that are already FRMCS-capable must be observed in the spatial/chronological sequence of the equipment. Finally, FRMCS could be brought into operation in sections. This would be followed by the gradual dismantling of GSM-R. ■

AUTOREN | AUTHORS

Amelie Wimpffen
Junior Consultant
E-Mail: amelie.wimpffen@quattron.com

Dr.-Ing. Thorsten Bükler
Managing Partner
E-Mail: thorsten.bueker@quattron.com

Dr. Silvio Döring
Managing Partner
E-Mail: silvio.doering@quattron.com

Matthias Becker
Project Engineer
E-Mail: matthias.becker@quattron.com

Dipl.-Kfm. Bernd Potthoff
Senior Project Manager GSM-R and FRMCS
E-Mail: bernd.potthoff@quattron.com

Alle Autoren / All authors:
Quattron management consulting
Adresse / Address: Schaumainkai 87, D-60596 Frankfurt/Main