

FRMCS-Ausrüstung von 463 Triebzügen für den Digitalen Knoten Stuttgart

FRMCS equipment of 463 multiple units for the Stuttgart Digital Node

Didier Chevalier | Christian Flöter | Richard Fritzsche | Jose Gonzalez-Isabel | Bernd Kampschulte | Fabian Raichle | Nilesch Sane | Philipp Wagner

Bei der laufenden Nachrüstung von 333 Triebzügen für den Digitalen Knoten Stuttgart (DKS) wird neben ETCS, ATO GoA 2 und weiteren Techniken auch FRMCS eingebaut. Zusätzlich dazu erhalten 130 neue Regionaltriebzüge FRMCS bereits „ab Werk“. Beiden Projekten liegt ein zweistufiges Ausrüstungskonzept zugrunde, mit dem das neue Funksystem von Beginn an mitberücksichtigt wird und nachlaufend zu ETCS in Betrieb genommen werden soll, wenn eine stabile Spezifikation vorliegt. Inzwischen wurde ein Großteil der Hardware in erste First-of-Class-Züge eingebaut.

1 Motivation

Im DKS, einem Pilotprojekt im Starterpaket der Digitalen Schiene Deutschland (DSD), wird erstmals ein großer deutscher Knoten mit Digitalen Stellwerken, ETCS Level 2/3 und weiteren Techniken der DSD ausgerüstet. [1] Dazu zählt auch das GSM-R-Nachfolgesystem FRMCS (Future Railway Mobile Communication System), das im Rahmen einer im Dezember 2022 mit der Bundesrepublik Deutschland geschlossenen Finanzierungsvereinbarung im Zuge des weiteren Ausbaus für den DKS (Baustein 3) zu planen ist. [2]

Der vorige Artikel [3] gibt einen Überblick zum Stand von Spezifikation und Umsetzung von FRMCS. Bei der Deutschen Bahn AG (DB) soll FRMCS ab etwa 2027 im Betrieb erprobt werden. Auch in Deutschland ist geplant, GSM-R bis 2035 abzulösen. [4] Eine branchenweite FRMCS-Arbeitsgruppe [5] hat inzwischen die Arbeit aufgenommen. Gleichwohl einfaches GSM-R (ohne GPRS, mit dem erweiterten GSM-R-Frequenzband) kapazitativ ausreichend ist, um ETCS Level 2 „ohne Signale“ im dicht befahrenen Kern des Knotens Stuttgart robust zu betreiben, stößt das System an einige Grenzen: So wirkt die mit 1,8 Sekunden [6] großzügig modellierte Übertragungszeit für ETCS-Fahrerlaubnisse dämpfend auf die betriebliche Leistungsfähigkeit. Auch erfordert ATO GoA 2 (Automatic Train Operation Grade of Automation 2) eine paketvermittelte Datenübertragung [7] und wird daher zunächst über öffentlichen Mobilfunk laufen.

Das 5G-basierte FRMCS ebnet einer Reihe von Anwendungen den Weg: Dazu zählen neben dem Sprachfunk, ETCS und hochautomatisierten Bahnbetrieb mit Triebfahrzeugführer (ATO GoA 2) beispielsweise auch der elektronische Buchfahrplan (EBuLa). FRMCS ist auch fester Bestandteil des DSD-Zielbildes (bis hin zum vollautomatisierten Fahren in GoA 4), in dem wesentlich größere Datenraten und wesentlich kürzere Latenzen erforderlich werden. [8] Diese sind durch GSM-R nicht zu gewährleisten.

Der erwartete Nutzen von FRMCS ist dabei auch im DKS vielfältig: So kann die Übertragungszeit für ETCS-Fahrerlaubnisse auf voraussichtlich 0,1 Sekunden verkürzt werden, womit unmittelbar sämt-

In addition to ETCS, ATO GoA 2 and further technologies, FRMCS is also being installed as part of the ongoing retrofit of 333 multiple units for the Stuttgart Digital Node (DKS). 130 new regional multiple units will also receive FRMCS “ex works”. Both projects are based on a two-stage equipment concept, which takes the new radio system into account from the very beginning and plans to commission it after ETCS, once a stable specification is available. In the meantime, a large part of the hardware has been installed in the first first-of-class trains.

1 Motivation

A major German node is being equipped with digital interlockings, ETCS Level 2/3 and further DSD technologies for the first time in the DKS, a pilot project in the Digitale Schiene Deutschland (DSD) starter package. [1] This also includes the GSM-R successor system, FRMCS (Future Railway Mobile Communication System), whose further expansion in the DKS (building block 3) is planned under a financing agreement concluded with the Federal Republic of Germany in December 2022. [2]

The previous article [3] gives an overview of the status of the FRMCS specification and implementation. It is planned to be tested in operations at Deutsche Bahn AG (DB) from around 2027. It should also replace GSM-R by 2035. [4] In the meantime, an FRMCS working group with several representatives from the German railway sector [5] has already started its work. Even though mere GSM-R (without GPRS, but with the extended GSM-R frequency band) provides sufficient capacity for full-scale, high-performance ETCS Level 2 operations (without class B) in the dense traffic found at the core of the Stuttgart node, it has clear limits: for example, the cautiously modelled transmission time of 1.8 s [6] for ETCS movement authorities increases the headways quite significantly. Additionally, ATO GoA 2 (Automatic Train Operation Grade of Automation 2) requires packet-switched data transmission [7] and will therefore initially run via public mobile radio.

The 5G-based FRMCS will pave the way for a number of applications: in addition to voice radio, ETCS and semi-automatic train operations (ATO GoA 2), these include the electronic timetable for train drivers (EBuLa), for example. FRMCS is also an integral part of the DSD target state (all the way up to fully automated driving in GoA 4), in which much higher data transmission rates and much shorter latencies are required. [8] These cannot be guaranteed by GSM-R.

The expected benefits of FRMCS in the DKS are also manifold: for example, the transmission time for ETCS movement au-

liche Mindestzugfolgezeiten im DKS um etwa 1-2 % verkürzt werden können. Die schnelle und robuste Datenübertragung ist ferner eine Voraussetzung, um im Zusammenspiel von ETCS, ATO GoA 2 und CTMS vorausschauendes Fahren, knapp unterhalb der Zwangsbremseinsatzkurve (EBI) zu ermöglichen, womit deutlich größere Kapazitätseffekte erwartet werden. [9] Ein weiterer nicht unwesentlicher Effekt liegt nicht zuletzt auch schlicht in der Möglichkeit, EBUla sehr viel schneller als mit GSM-R zu übertragen – somit kann beispielsweise die Wendezeit in der hochbelasteten S-Bahn-Wendeschleife Schwabstraße, in der die Zugnummer gewechselt wird und somit neue Fahrpläne zu laden sind, um voraussichtlich eine volle Minute verkürzt und somit mindestens die Pünktlichkeit spürbar verbessert werden.

Bei den 463 Triebzügen, die von Alstom für den DKS nach- bzw. ausgerüstet werden, ist auch FRMCS mit beauftragt. Erstmals in Deutschland findet der neue Funk damit auf Fahrzeugen Einzug. Hierzu wurde ein zweistufiges Ausrüstungskonzept konzipiert, ausgeschrieben, spezifiziert und nun umgesetzt. Die Fahrzeugausrüstung im DKS gilt dabei als eine Blaupause für die weitere Fahrzeugaus- und -nachrüstung im Rahmen der DSD.

2 Konzept

2.1 Vergabeverfahren

Bei der im Januar 2020 begonnenen Konzeption der Ausschreibung für die Nachrüstung der 333 Triebzüge zeigte sich insbesondere im Hinblick auf FRMCS ein Spannungsfeld: Zwar war die GSM-R-Ablösung bereits am Horizont in Grundzügen klar erkennbar – eine Spezifikation, Lastenhefte oder manche Komponenten standen dafür jedoch noch nicht zur Verfügung. Die damals für 2022 erwartete neue TSI ZZS, in der FRMCS enthalten sein sollte, konnte nicht abgewartet werden, da die Triebzüge rechtzeitig für die 2025 zusammen mit Stuttgart 21 geplante Betriebsaufnahme im Kern des DKS mit ETCS (über GSM-R) auszurüsten waren. [10] Daraus entstand die Idee eines Zwei-Stufen-Konzeptes, in dem FRMCS bis 2025 in einer ersten Stufe soweit wie möglich vorgedacht und vorbereitet und erst nach 2025 – auf der Grundlage einer reifen Spezifikation und verfügbarer Komponenten – in Betrieb gesetzt wird.

Die im Februar 2021 veröffentlichte Richtlinie zur modellhaften Förderung der Fahrzeugausrüstung [11] durch den Bund enthielt u. a. die Anforderung, dass „Applikations- bzw. Safety-bezogen[e] Funktionen im EuroRadio der Fahrzeuggeräte von konnektivitätsbezogenen Funktionen“ zu trennen sind, „sodass ein Upgrade auf die erwartete TSI ZZS 2022 (per Software-Update oder per Teil-Hardware-Update) möglich ist“.

Verbindlichkeit	Lastenheft-Anforderung
Muss	ETCS- und ATO-Fahrzeugausrüstung entsprechen TSI ZZS 2022 mit der höchsten Spezifikationsgruppe und FRMCS mit den Mindestbestandteilen Kommunikation über 5G und GSM-R/GPRS
Muss	EuroRadio ist so realisiert, dass eine Anbindung an ein FRMCS-Gateway über ein in der TSI ZZS 2022 definiertes Interface durch ein Software-Upgrade erreicht werden kann. Hierzu verfügt EuroRadio bereits physisch über diese Schnittstelle.
Muss-Option	Der AN stellt sicher, dass Antennen für ETCS die Frequenzbereiche bei 900 MHz und 1,9 GHz sowie GSM-R und FRMCS abdecken können.
Muss	Alle ETCS-Funkantennenkabel sind tauglich für den Einsatz von 0,7 GHz bis 1,9 GHz.
Muss	ATO-OB ist so realisiert, dass eine Anbindung an ein FRMCS-Gateway über ein in der TSI ZZS 2022 definiertes Interface mit einem Software-Upgrade erreicht werden kann. Hierzu verfügt die ATO-OB bereits physisch über diese Schnittstelle.

Tab. 1: FRMCS-bezogene Lastenheft-Anforderungen der Retrofit-Ausschreibungen (2021)

thorities can be reduced to an estimated 0.1 s, which means that all the headways in the DKS can be directly reduced by about 1-2 %. Fast and robust data transmission also enables predictive driving (through ETCS, ATO GoA 2 and CTMS), just below the Emergency Brake Intervention Curve (EBI), which is expected to have significantly greater capacity effects. [9] Another notable effect lies in the much faster EBUla data transmission – thus the turning time on the heavily used Schwabstraße S-Bahn reversing loop, where the train number has been changed and new timetables therefore have to be downloaded, can be shortened by probably a full minute and punctuality can at least be noticeably improved, for example.

FRMCS has also been commissioned for the 463 multiple units that Alstom is retrofitting or equipping for the DKS. This is the first time in Germany that the new radio system has found its way into vehicles. A two-stage equipment concept has been designed for this purpose, put out to tender, specified and is now being implemented. The vehicle equipment in the DKS is considered a blueprint for the similar equipping and retrofitting of vehicles under the DSD.

2 The concept

2.1 Procurement

Some difficulties concerning FRMCS became apparent during the drafting of the tender for the retrofitting of the 333 multiple units, which began in January 2020: even though the GSM-R replacement was already clearly visible on the horizon, the specifications and some components were not yet available. It was not possible to wait for the new TSI CCS, which was anticipated in 2022 at that time and was to include FRMCS, as the multiple units had to be equipped with ETCS (via GSM-R) in time for the start of operations in the DKS core planned for 2025 along with the Stuttgart 21 infrastructure project. [10] This gave rise to the idea of a two-stage concept in which FRMCS is preconceived and prepared as far as possible in a first stage by 2025, but is only commissioned post 2025 – on the basis of mature specifications and available components.

The guideline published in February 2021 for the federal government’s model-based funding of vehicle equipment [11] contained, amongst other things, the requirement that “any application or safety-related functions in the on-board units’ EuroRadio must be separated from any connectivity-related functions”, “so that an upgrade to the expected TSI CCS 2022 (by means of a

Binding nature	Requirement specification
Mandatory	The ETCS and ATO on-board equipment comply with TSI CCS 2022 with the highest specification group and FRMCS with the minimum components for communication via 5G and GSM-R/GPRS.
Mandatory	EuroRadio is implemented in such a way that a connection to an FRMCS gateway can be achieved via an interface defined in the TSI CCS 2022 by means of a software upgrade. EuroRadio already physically has this interface for this purpose.
Mandatory option	The contractor will ensure that the antennas for ETCS can cover the 900 MHz and 1.9 GHz frequency ranges, as well as GSM-R and FRMCS.
Mandatory	All the ETCS radio antenna cables are suitable for use from 0.7 GHz to 1.9 GHz.
Mandatory	ATO-OB is implemented in such a way that a connection to an FRMCS gateway can be achieved via an interface defined in the TSI CCS 2022 with a software upgrade. ATO-OB already physically has this interface for this purpose

Tab. 1: The FRMCS-related specification requirements of the retrofit tenders (2021)

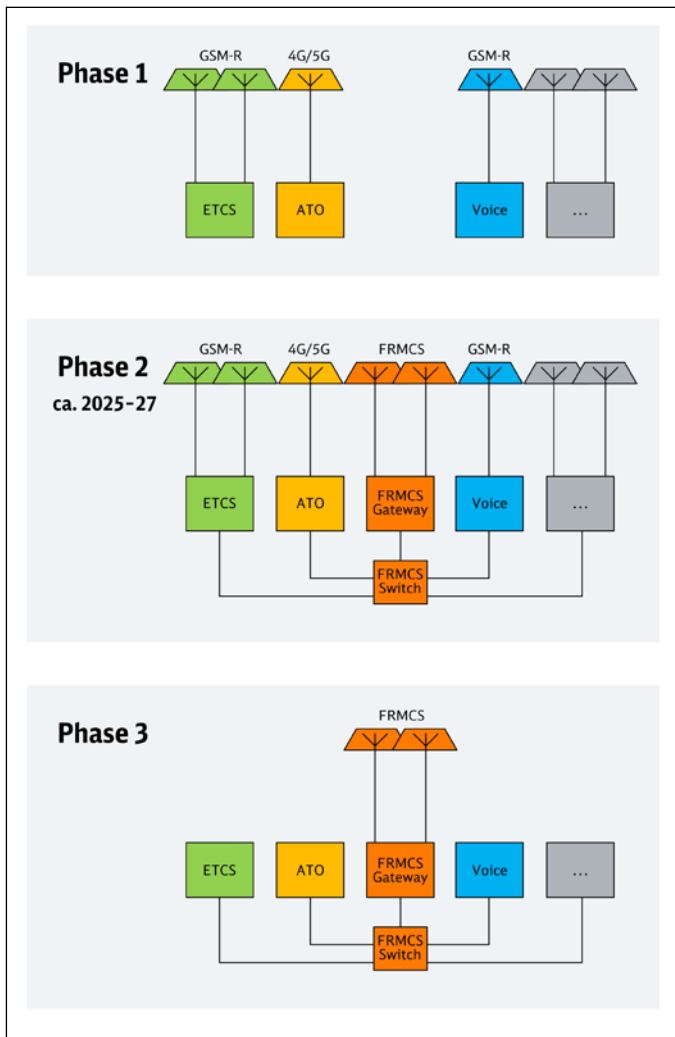


Bild 1: Wesentliche Phasen der FRMCS-Migration
 Fig. 1: Key steps in the FRMCS migration Quelle / Source: Deutsche Bahn

Ein solches „Update“ auf die nächste TSI ZZS war als zwingende Option enthalten. [12] Nachdem mit der zukünftigen EuroRadio-Architektur und den Frequenzbändern zumindest zwei Eckpfeiler von FRMCS absehbar waren, entwickelte der Bereich Beschaffung der DB einige erste Lastenheftanforderungen (Tab. 1).

Eine „FRMCS-Upgradefähigkeit“ wurde zu einem von vier Themenfeldern, die im Rahmen einer mit ausgeschriebenen Innovationskooperation (IK) von Auftragnehmer und Auftraggeber gemeinsam zu bearbeiten waren. Aufbauend auf Grundlagen (wie den Anforderungen aus Tab. 1) waren die CENELEC-Phasen 1 bis 5 zu durchlaufen, Lasten- und Pflichtenhefte zu erarbeiten. [13] Alle Bieter boten ihre Beteiligung an der IK entsprechend mit an.

Bestandteil der Mitte 2021 erfolgten Vergaben an Alstom ist auch das Upgrade auf die nächste TSI sowie die zweistufige Umsetzung der FRMCS-Fahrzeugausrüstung. Während bei der Seriennachrüstung der DKS-Triebzüge etwa 90 % der Kosten für die bloße ETCS-Ausrüstung anfallen, macht die Ausrüstung mit FRMCS nur einen kleinen Anteil der übrigen etwa 10 % aus. [11]

2.2 Weitere Ausarbeitung

Die Einführung von FRMCS erfolgt in geographischer wie technischer Hinsicht in drei wesentlichen Phasen (Bild 1):

- Zunächst nutzen sowohl ETCS als auch der Sprachfunk GSM-R (auf zwei getrennten Wegen, mit drei Antennen). ATO GoA 2, das

software update or a partial hardware update) is possible“. Such an “update” to the next TSI CCS was then included in the tender as a mandatory option. [12] DB’s procurement division developed some initial requirement specifications (tab. 1) once at least two FRMCS cornerstones were foreseeable (i.e. the future EuroRadio architecture and the frequency bands).

“FRMCS upgradeability” was one of four topics to be worked on jointly by the contractor and the client within the framework of the tendered innovative cooperation (IC). It was necessary to pass through CENELEC phases 1 to 5 and the specifications and requirements had to be developed, while building on the basic principles (such as the requirements in tab. 1). [13] All the bidders offered their participation in the IC accordingly. The contracts awarded to Alstom in mid-2021 also included an upgrade to the next TSI, as well as the two-stage implementation of the FRMCS vehicle equipment. While the ETCS equipment alone accounts for around 90 % of the costs for the series retrofitting of the DKS multiple units, the FRMCS equipment only accounts for a small proportion of the remaining approximately 10 %. [11]

2.2 Further work

The introduction of FRMCS will take place in three main phases, both geographically and technically (fig. 1):

- Initially, both ETCS and voice radio will use GSM-R (on two separate paths, with three antennas). ATO GoA 2, which is specified as a non-safety-related system, operates (using a separate anten-

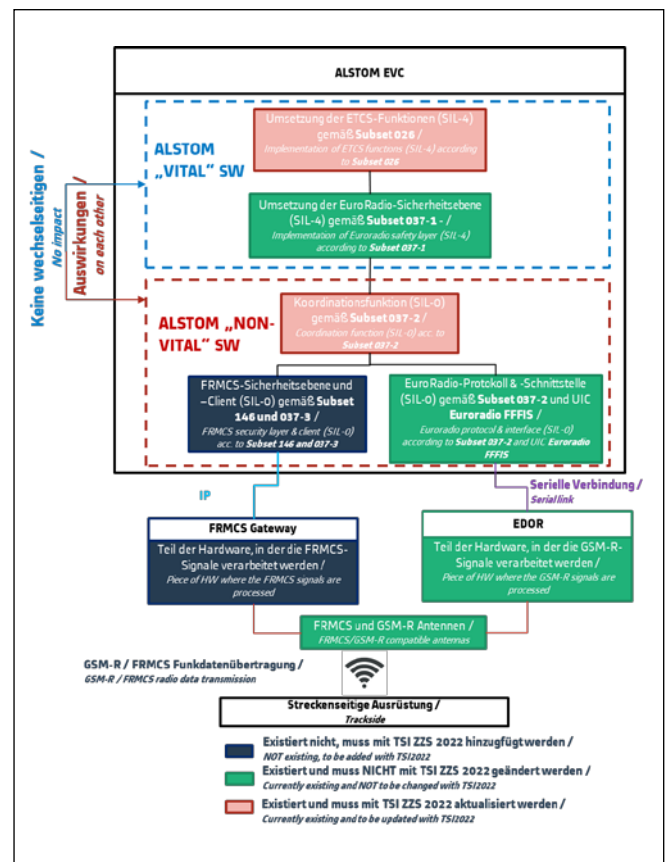


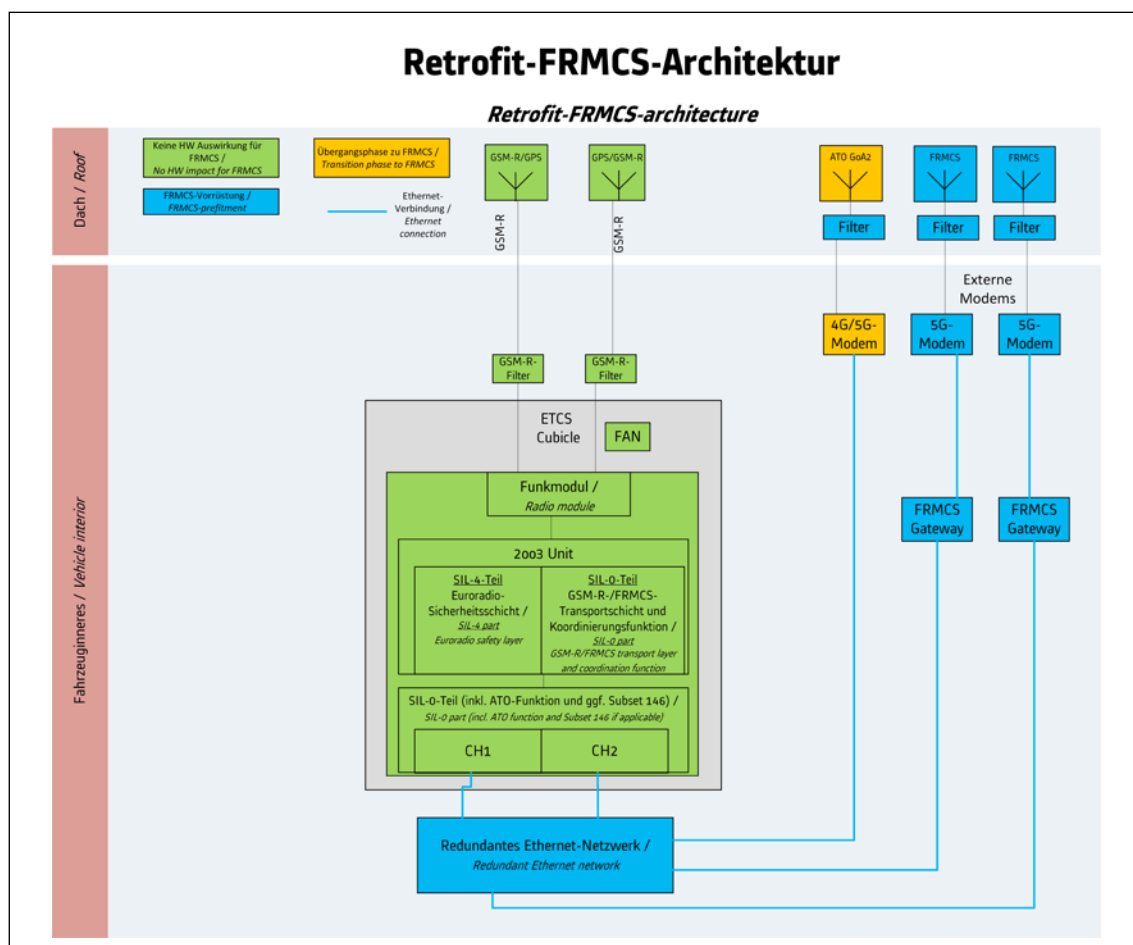
Bild 2: Trennung von sicherheitsrelevanten und nicht sicherheitsrelevanten Funktionen, um die spätere Migration auf die TSI ZZS 2023 zu vereinfachen

Fig. 2: The separation of safety-related and non-safety-related functions in order to simplify the subsequent migration to the TSI CCS 2023 Quelle / Source: Alstom

Bild 3: Vereinfachte Architektur der DSD-Fahrzeugausrüstung (mit Fokus auf Funk) bei Retrofit-Triebzügen (Stufe 1)

Fig. 3: The simplified architecture of the DSD on-board equipment (with a focus on the radio) for retrofitting multiple units (stage 1)

Quelle / Source: Alstom



als nicht sicherheitsrelevantes System spezifiziert ist, läuft (mittels gesonderter Antenne) über öffentlichen Mobilfunk. Weitere Anwendungen, beispielsweise für Fahrzeugdiagnosedaten und Kunden-WLAN, nutzen gesonderte Wege. FRMCS ist auf den Fahrzeugen vorbereitet, aber noch nicht in Betrieb (Bild 3).

- In einem zweiten Schritt (ca. 2025 bis 2027) wird FRMCS fahrzeugseitig in Betrieb gesetzt. Anwendungen können nun Schritt für Schritt auf FRMCS umgestellt werden. Die Fahrzeugausrüstung muss dabei in der Lage sein, mit diesen zeitlichen und räumlichen Migrationsszenarien [13] umzugehen, beispielsweise ETCS bereichsweise über GSM-R oder FRMCS zu betreiben, während für ATO GoA 2 bereits durchgehend FRMCS verwendet wird.
- Im Endzustand soll die gesamte bahnbegleitende Kommunikation ausschließlich über FRMCS laufen. Lediglich weitere nicht bahnbetriebliche Anwendungen, beispielsweise für Fahrgast-WLAN, laufen auf gesonderten Wegen. Die bisherige GSM-R-Ausrüstung wird zurückgebaut.

Im Rahmen der Bietergespräche sowie der späteren Innovationskooperation wurde ein entsprechendes technisches Konzept entwickelt und detailliert. Die gesamte DSD-Fahrzeugausrüstung (einschließlich ETCS, GSM-R und FRMCS) wird auf diesen Grundlagen „in einem Guss“ geplant und umgesetzt. Im Rahmen der Innovationskooperation wurden insbesondere die Schnittstellen am ETCS / ATO-Gerät für FRMCS definiert. Dabei wurde die EuroRadio-Architektur von Beginn an gemäß [14] und [15] in sicherheitsrelevante und nicht sicherheitsrelevante Funktionen getrennt, damit Anpassungen im nicht sicherheitsrelevanten Teil möglichst keine neue Zulassung von EuroRadio auslöst (Bild 2).

na) via public mobile radio. Other applications, for example for vehicle diagnostic data and customer Wi-Fi, use separate paths. FRMCS will be prepared on the vehicles in this stage, but not yet in operation (fig. 3).

- FRMCS will be commissioned on the vehicles in the second step (approximately 2025 to 2027). The applications will now be able to be gradually migrated to FRMCS. The on-board equipment will have to be able to cope with these temporal and spatial migration scenarios [13], e.g. the operation of ETCS in some areas via GSM-R or FRMCS, while FRMCS is already in continuous use for ATO GoA 2.
- In the final state, all the railway-related communications will run exclusively via FRMCS. Only other non-rail applications, for example for passenger WLAN, will run on separate paths. The previous GSM-R equipment will be dismantled.

A corresponding technical concept was developed and detailed within the framework of the bidder discussions, as well as the subsequent innovative cooperation. The entire DSD vehicle equipment (including ETCS, GSM-R and FRMCS) has been planned and implemented as a whole on this basis. The interfaces to the ETCS / ATO equipment for FRMCS were particularly defined as part of the innovative cooperation. In doing so, the EuroRadio architecture has been separated into safety-relevant and non-safety-relevant functions from the very beginning in accordance with [14] and [15], so that any adaptations to the non-safety-relevant part do not trigger the need for a new approval of EuroRadio, if possible (fig. 2).

The retrofit project then worked out the equipping process. For example, five additional antennas (two each for FRMCS and GSM-R and one (4G/5G) for public mobile radio) will be installed for

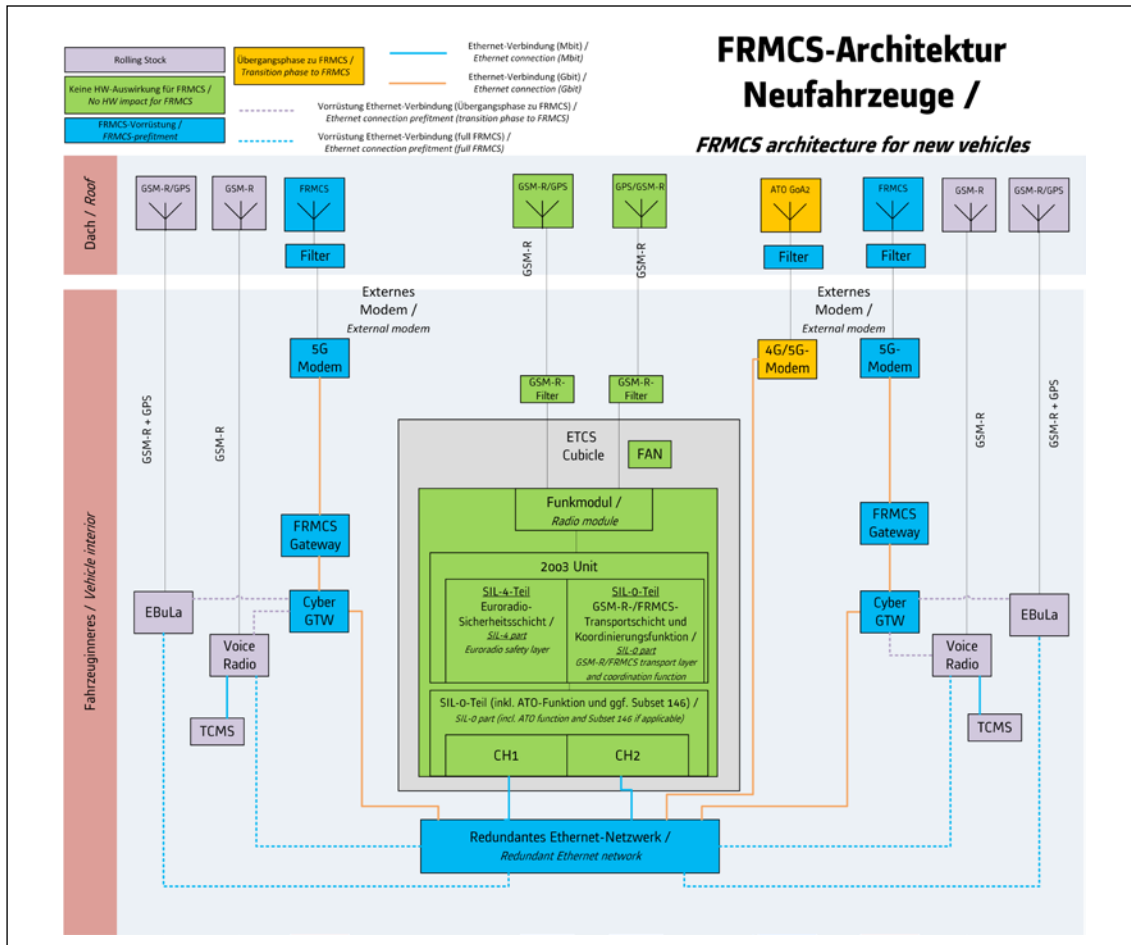


Bild 4: Vereinfachte Architektur der DSD-Fahrzeugausrüstung (mit Fokus auf Funk) bei neuen Triebzügen (Stufe 1)

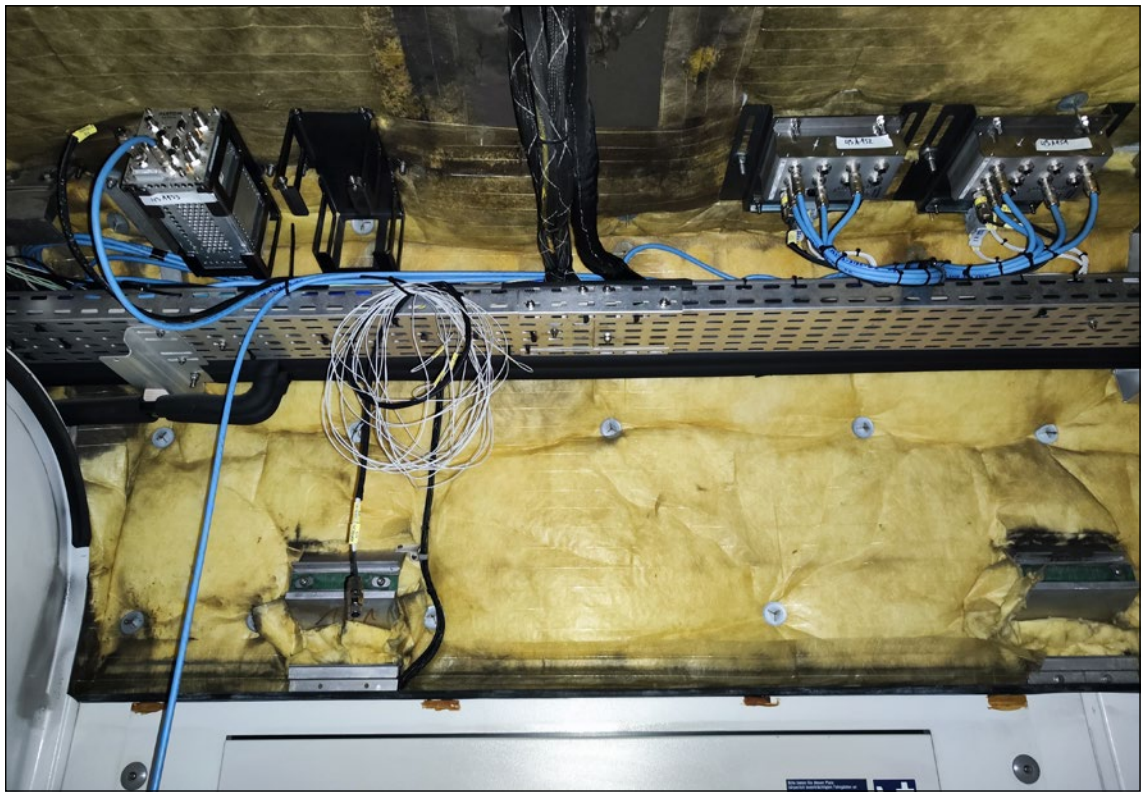
FFig. 4: The simplified architecture of the DSD onboard equipment (with a focus on the radio) on new multiple units (stage 1) Quelle / Source: Alstom

Im Projekt wurde anschließend die Ausrüstung erarbeitet. Für ETCS und ATO werden beispielsweise fünf zusätzliche Antennen – je zwei für FRMCS und GSM-R sowie eine (4G/ 5G) für öffentlichen Mobilfunk verbaut. Diese werden so auf dem Dach angeordnet und zusätzlich Platz für Filter freigehalten, dass bei Fertigstellung der FRMCS-Standardisierung eine ausreichende Entkopplung der unterschiedlichen Systeme erzielt werden kann. Auch bei Einbaukäben, Kabeln oder der IT-Sicherheit wird FRMCS von Beginn an mitberücksichtigt. Ein Großteil der Hardware wird bereits zusammen mit ETCS, bis 2025, in die Fahrzeuge eingebaut. Dazu zählen insbesondere Antennen, Kabel, Filter, Netzwerkkomponenten, Gateways (FRMCS-Rechner, noch ohne Software) und Energieversorgung. Weitere Hardwarekomponenten sollen in der zweiten Stufe nachgerüstet, dann auch das Netzwerk sowie eine neue Software (gemäß TSI ZZS 2023 und FRMCS-Spezifikation 2.0) in Betrieb genommen und das System genehmigt werden. Aufgrund noch zu klärender Lücken in der Spezifikation liegt der Planung dabei ein Worst-Case-Fall zugrunde: Für Filter und Modems – soweit letztlich überhaupt erforderlich – werden u.a. Anschlüsse, Halterungen und Energieversorgung mitberücksichtigt („Plug & Play“). Durch dieses Zwei-Stufen-Konzept sollen nicht nur aufwendige spätere Änderungen und Doppelarbeiten so weit wie möglich vermieden werden, sondern auch die Standzeit in der zweiten Stufe auf wenige Tage begrenzt werden. Die neuen Doppelstock-Regionaltriebzüge des Landes Baden-Württemberg, deren Vergabe an Alstom 2021 erfolgte und 2022 gerichtlich bestätigte wurde, werden ebenfalls zweistufig ausgerüstet. In Umfang (Bild 4) und Funktion geht die FRMCS-Ausrüstung über jene der Nachrüstung hinaus und macht sich die besonderen Möglichkeiten eines Neufahrzeugs zu nutzen: In der Architektur ist ein

ETCS and ATO. They are arranged on the roof – and additional space kept free for the filters – so that sufficient decoupling of the different systems can be achieved once the FRMCS standardisation has been completed. FRMCS has also been taken into account from the very beginning when it comes to installation space, cables and IT security. A large part of the FRMCS hardware will already be installed on the vehicles by 2025, along with ETCS. This particularly includes the antennas, cables, filters, network components, gateways (basically FRMCS computers, still without software) and power supply. Further hardware components will be retrofitted in the second stage and the network and new software (in accordance with TSI CCS 2023 and FRMCS specification 2.0) will then also be commissioned and the system will be approved. The gaps in the specifications that still need to be clarified mean that the planning is based on a worst-case scenario: the connections, brackets and power supply, among other things, have also been taken into account (“plug & play”) for the filters and modems (if they are ultimately necessary). This two-stage concept is not only intended to avoid any costly subsequent changes and the duplication of work as far as possible, but also to limit the downtime in the second stage to a few days. The 130 new double-decker multiple units of the state of Baden-Württemberg for regional services, which were awarded to Alstom in 2021 (confirmed by the courts in 2022), will also be equipped in two stages. In terms of scope (fig. 4) and function, their FRMCS equipment goes beyond that of the retrofitted vehicles and makes use of the special opportunities associated with a new vehicle: the architecture already includes an

Bild 7: Installation einer Netbox (links) und zwei Ethernet-Switches (rechts) in einem S-Bahn First-of-Class-Triebzug der Baureihe 423

Fig. 7: The installation of a Netbox (left) and two Ethernet switches (right) in a class 423 first-of-class multiple unit Quelle / Source: Alstom



Ende 2022 abgeschlossen. Inzwischen sind etliche Integrationstests und erste Testfahrten erfolgt. Im Rahmen der ersten Stufe wird die (noch unvollständige) FRMCS-Fahrzeugausrüstung dabei lediglich Designtests unterzogen werden.

Die Fertigung der Doppelstocktriebzüge wird im Frühjahr 2023 begonnen, die DSD-Ausrüstung (mit FRMCS nach Stufe 1) wird in diese Züge ab 2024 eingebaut.

4 Zusammenfassung / Ausblick

Die Nach- und Ausrüstung von 463 Triebzügen für den DKS zeigt, wie FRMCS schon heute bei ETCS-Aus- und Nachrüstungsprojekten mitberücksichtigt werden kann. Die im Rahmen der Innovationskooperation von Alstom, dem Land Baden-Württemberg und der DB gemeinsam erarbeiteten Ergebnisse werden sukzessive auf www.digitale-schiene-deutschland.de/digitaler-knoten-stuttgart veröffentlicht.

Mit Blick auf die anstehende Nachrüstung von etwa 13 500 Triebfahrzeugen und Triebzügen in Deutschland [16] sind die Erfahrungen gleichwohl nicht immer uneingeschränkt übertragbar. Während bei Triebzügen beispielsweise ausreichend Dachfläche zur Verfügung steht, um fünf zusätzliche Antennen passend anzuordnen, gestaltet sich dies bei Lokomotiven deutlich schwieriger. Zudem gibt es auf dem Markt auch andere Umsetzungskonzepte, um die sich mit FRMCS ergebenden Herausforderungen zu bewältigen.

Den Chancen, durch die vorausschauend gestaltete Fahrzeugausrüstung Synergien zu heben und somit Kosten und Standzeiten zu sparen, stehen auch Risiken der Erstanwendung gegenüber. So mussten im Projekt wiederholt Designentscheidungen anhand von absehbaren, aber noch nicht verbindlich fixierten Rahmenbedingungen getroffen werden, beispielsweise zu Antennentypen. Mit der nunmehr kurzfristig erwarteten TSI ZZS 2023, der weiteren Konkretisierung der FRMCS-Spezifikation

completed on the first multiple units at the end of 2022. Several integration tests and first test runs have taken place in the meantime. In the first stage, the (still incomplete) FRMCS on-board equipment will only undergo design tests.

The production of the double-deck units will start in spring 2023, the DSD equipment (with FRMCS after stage 1) will be installed in these trains from 2024.

4 The prospects

The retrofitting and equipping of 463 multiple units for the DKS shows how FRMCS can already be taken into account today when vehicles are equipped or retrofitted with ETCS. The results jointly developed within the framework of the innovative cooperation between Alstom, the state of Baden-Württemberg and DB will be published successively on www.digitale-schiene-deutschland.de/digitaler-knoten-stuttgart.

Nevertheless, the experience gained in the DKS is not always fully transferable when looking at retrofitting the remaining approximately 13,500 locomotives and multiple units in Germany [16]. While there is sufficient roof space available on the multiple units, for example, to suitably arrange five additional antennas, this is much more difficult on locomotives. In addition, there are also other implementation concepts on the market aimed at overcoming the FRMCS challenges.

The opportunities to leverage synergies through forward-looking vehicle equipment design and thus save costs and downtime are also offset by the risks of an early application. For example, design decisions have had to be repeatedly made in the project on the basis of foreseeable, but not yet binding framework conditions, such as antenna types. With the TSI CCS 2023 now expected in the short term, the further concretisation of the FRMCS specification and increasing experience, the opportunities should clearly outweigh the risks.

und zunehmenden Erfahrungen dürften die Chancen die Risiken deutlich überwiegen.

Weitere Chancen und Synergien könnten sich aus einer Verzahnung einer FRMCS-Ausrüstung im Zuge der bundesweiten Aus- und Nachrüstung mit ETCS (und weiteren DSD-Techniken) mit der FRMCS-Ausrüstung für Sprachfunk ergeben. Eine im System Bahn (mit Fahrzeugen und Infrastruktur) eng koordinierte und klug geförderte DSD-Ausrüstung (einschließlich ETCS und FRMCS) birgt dabei auch für die Infrastruktur große Chancen [11]: beispielsweise für eine schnellere FRMCS-Migration, größere Reichweiten (durch verstärkte Nutzung von 900 statt 1900 MHz, somit weniger notwendigen Standorten) oder Steigerungen der Fahrwegkapazität.

Gearbeitet wird auch noch an Potenzialen, beispielsweise Antennen und Filter zu kombinieren. Darüber hinaus gilt es bei der Nachrüstung der Triebzüge noch, Lösungen zu finden, Zugfunk und EBUa an FRMCS anzubinden. Und während die FRMCS-Fahrzeugausrüstung klare Konturen annimmt, läuft nun auch die Planung der FRMCS-Infrastruktur an. ■

LITERATUR | LITERATURE

- [1] Beyer, M.; Bateau, V.; Bitzer, F.; Dietrich, F.; Lammerskitten C.; Lück, B.; Richter, R.; Rudolph, C.; Vogel, T.: Der Digitale Knoten Stuttgart wird Realität, DER EISENBAHNINGENIEUR 1/2023 (<https://bit.ly/3RCeqFR>)
- [2] Vereinbarung zur Finanzierung von Planungskosten für ETCS/DSTW/ATO/DLST-Ausrüstung des Starterpakets DSD (Pilotprojekt Digitaler Knoten Stuttgart, Baustein 3). Finanzierungsvereinbarung Dezember 2022
- [3] Cotelte, P.: Der Weg zu FRMCS, SIGNAL+DRAHT 5/2023, S. 31–37
- [4] Krantzik, A.; Vrielink A.: Zukunft des Bahnfunks – Migration von GSM-R auf FRMCS, SIGNAL+DRAHT 4/2022
- [5] Deutsche Bahn bildet branchenweite FRMCS-Arbeitsgruppe, Signal+Draht 1/2022
- [6] Behrens, M.; Caspar, M.; Distler, A.; Fries, N.; Hardel, S.; Kreßner, J.; Lau, K.; Pensold, R.: Schnelle Leit- und Sicherungstechnik für mehr Fahrwegkapazität, DER EISENBAHNINGENIEUR 6/2021 (<https://bit.ly/2SIQvjY>). (Die Laufzeit beinhaltet 0,8 s für die Übertragung per GSM-R mit 4.800 Baud und eine Sekunde für gelegentliche Retransmissions/Verzögerungen an Schnittstellen.)
- [7] SUBSET-148, Abschnitt 6.1.1.1
- [8] Marsch P.; Fritzsche, R.; Hofeld, B.; Kuo, F.-C.: 5G für das digitalisierte Bahnsystem der Zukunft – ein Ausblick auf FRMCS, SIGNAL+DRAHT 3/2022 (<https://bit.ly/3Q9agEA>)
- [9] Kümmling, M.; Wanstrath, S.: Maximierung der Fahrwegkapazität mit Digitaler Leit- und Sicherungstechnik, Eisenbahntechnische Rundschau 7+8/2021 (<https://bit.ly/3eYOapT>)
- [10] Dietrich, F.; Meyer, M.; Neuhäuser, R.; Rohr, F.; Vogel, F.; Wenkel, W.: Fahrzeugnachrüstung für den Digitalen Knoten Stuttgart, DER EISENBAHNINGENIEUR 9/2021 (<https://bit.ly/3tFQWUB>)
- [11] Dietrich, F.; Molterer, L.; Philippsen, F.; Reinhart, P.; Schunke-Mau, C.; Vogel, T.; Wester-Ebbinghaus, H.: Förderung der DSD-Fahrzeugausrüstung im Digitalen Knoten Stuttgart, DER EISENBAHNINGENIEUR 4/2023, <https://bit.ly/3N24h5o>
- [12] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Bekanntmachung der Richtlinie zur Förderung der Ausrüstung von Schienenfahrzeugen mit Komponenten des Europäischen Zugsicherungssystems ERTMS (European Rail Traffic Management System) und des automatisierten Bahnbetriebs (ATO) im Rahmen der infrastrukturseitigen Einführung von ERTMS im „Digitalen Knoten Stuttgart“. Bundesanzeiger, BAnz AT 05.02.2021 B2 (<https://bit.ly/3hX5CJx>)
- [13] Flöter, F.; Raichle, F.; Höhne, T.; Köstlbacher, J.; Sane, N.; Sauer, M.; Schlichting, J.; Wagner, P.: Innovationskooperation Fahrzeugausrüstung im Digitalen Knoten Stuttgart, SIGNAL+DRAHT 9/2022 (<https://bit.ly/3dxD0Z6>)
- [14] Subset-037 (EuroRadio FIS) der TSI ZS 2023.
- [15] UIC: Description and Evaluation of Possible FRMCS Migration Variants for Existing ETCS and Cab Radio On-Board Units. Dokument TOBA-7515, 14. November 2019, Abschnitt 3.2.4 (<https://bit.ly/3LVhwnw>)
- [16] DB Netz: DSD-Rollout – Fachliche Konsultation mit Marktteilnehmer:innen. Foliensatz vom 7. April 2022 (<https://bit.ly/3AQJdb8>), S. 15–17

Further opportunities and synergies could result, if the fitting of FRMCS equipment under the nationwide ETCS/DSD vehicle retrofit in Germany is closely coordinated with the FRMCS equipment needed for voice radio. A closely coordinated and intelligently promoted DSD installation (including ETCS and FRMCS) in the railway system (with vehicles and infrastructure) also holds great opportunities for the infrastructure [11]: for example, faster FRMCS migration, greater ranges (through increased use of 900 instead of 1,900 MHz and therefore fewer necessary radio stations) or increased track capacity.

Work is also still being done on the potential, for example, for combining antennas and filters. In addition, solutions still need to be found to connect the voice radio and the electronic timetable system for the drivers (EBuLa) to FRMCS when retrofitting the multiple units. And while the equipping of vehicles with FRMCS is currently taking shape, the planning of the FRMCS infrastructure is now also getting underway. ■

AUTOREN | AUTHORS

Didier Chevalier

Program Manager
Alstom Transport Deutschland GmbH
Anschrift / Address: Ernst-Reuter-Platz 6, D-10587 Berlin
E-Mail: didier.chevalier@alstomgroup.com

Christian Flöter

Senior Expert Automatic Train Control
Deutsche Bahn AG
Anschrift / Address: Richelstraße 5, D-80634 München
E-Mail: christian.floeter@deutschebahn.com

Richard Fritzsche

Lead Connectivity Circle
DB Netz AG, Digitale Schiene Deutschland
Anschrift / Address: Stresemannstraße 123 A, D-10963 Berlin
E-Mail: richard.fritzsche@deutschebahn.com

Jose Gonzalez

Bid Technical Manager
Alstom Transport Deutschland GmbH
Anschrift / Address: Ernst-Reuter-Platz 6, D-10587 Berlin
E-Mail: jose.gonzalez-isabel@alstomgroup.com

Bernd Kampschulte

GSM-R Requirements and Applications Manager
DB Netz AG
Anschrift / Address: Adam-Riese-Straße 11-13, D-60327 Frankfurt a. M.
E-Mail: bernd.kampschulte@deutschebahn.com

Fabian Raichle

ETCS, ATO & FRMCS Expert
DB Regio AG, S-Bahn Stuttgart
Anschrift / Address: Eisenbahnstraße 42, D-73207 Plochingen
E-Mail: fabian.raichle@deutschebahn.com

Nilesh Sane

Project Engineering Manager
Alstom Transport Deutschland GmbH
Anschrift / Address: Ernst-Reuter-Platz 6, D-10587 Berlin
E-Mail: nilesh.sane@alstomgroup.com

Philipp Wagner

Formerly expert at the „Digital Rail“ Project Group
Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg
Anschrift / Address: Dorotheenstraße 8, D-70173 Stuttgart
E-Mail: wag.philipp@gmx.de