

# Innovationskooperation Fahrzeugausrüstung im Digitalen Knoten Stuttgart

## Innovative cooperation for the vehicle equipment at Stuttgart Digital Node

Christian Flöter | Fabian Raichle | Thomas Höhne | Johannes Köstlbacher | Nilesh Sane | Michael Sauer | Joachim Schlichting | Philipp Wagner

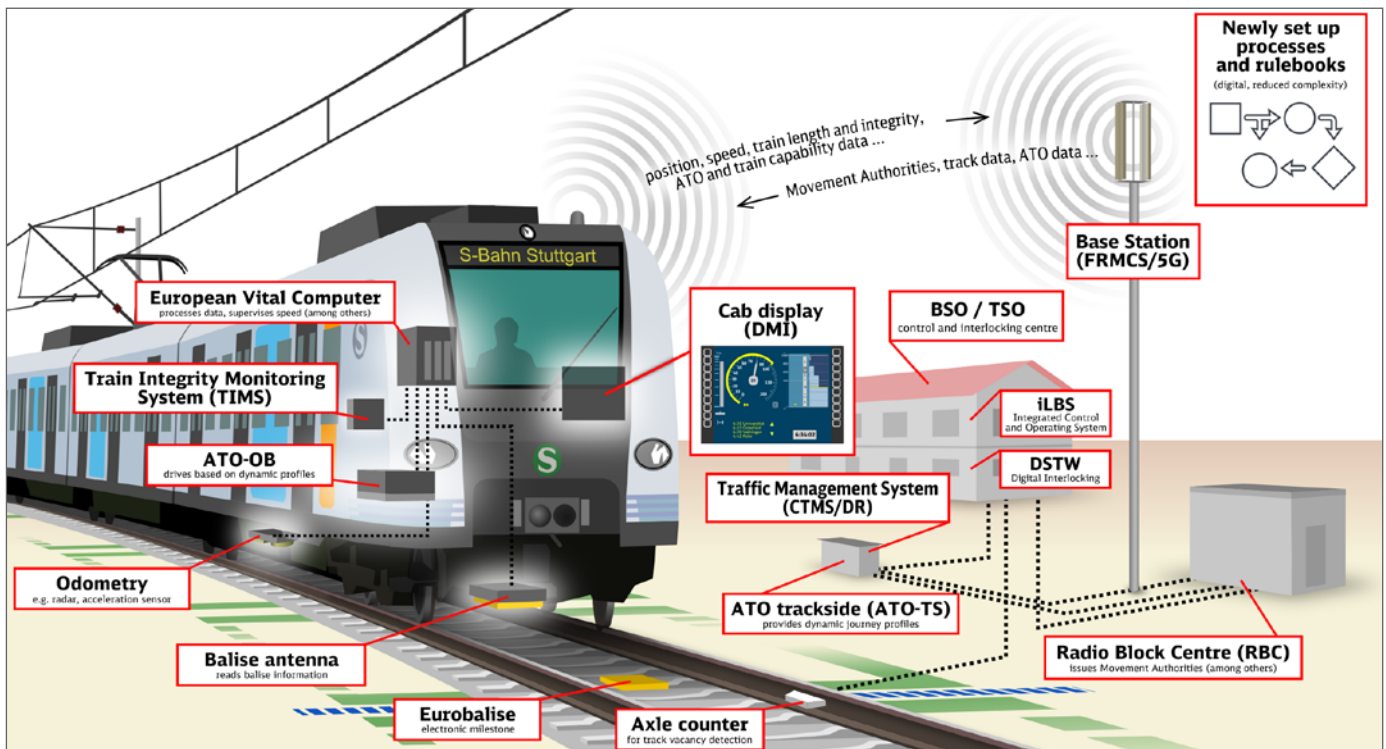


Bild 1: Zusammenwirken von Fahrzeugen, Infrastruktur und Betrieb im DKS (Horizont 2030)

Fig. 1: Interaction of vehicles, infrastructure and operation in the DKS (time horizon 2030)

Bei der Nachrüstung von 333 Regional- und S-Bahn-Triebzügen für den Digitalen Knoten Stuttgart (DKS) gehen Alstom, die Deutsche Bahn AG (DB) und das Land Baden-Württemberg gemeinsam neue Wege. Vier Themenfelder, die im Rahmen der 2020 platzierten Ausschreibung noch nicht vollumfassend spezifiziert waren, wurden im Rahmen einer Innovationskooperation gemeinsam bearbeitet und zur Umsetzungsreife geführt. Fahrzeugzustandsdatenübermittlung (TCR – Train Capability Report), FRMCS-Upgradefähigkeit (Future Rail Mobile Communication System), Zugintegritätsüberwachung (TIM – Train Integrity Monitoring) und OCORA-Schnittstellen (Open CCS Onboard Reference Architecture). Die dabei entstandenen Lösungen sollen weiteren Nachrüstungsprojekten als Vorbild dienen.

### 1 Motivation

Im Rahmen des DKS, einem Pilotprojekt im Starterpaket der Digitalen Schiene Deutschland (DSD), wird die Region Stuttgart bis 2030 schrittweise mit Digitalen Stellwerken, European Train Con-

For the retrofitting of 333 regional and commuter trains for the Stuttgart Digital Node (DKS), Alstom, Deutsche Bahn AG (DB) and the state of Baden-Württemberg are jointly breaking new ground. Four topics, which were not yet fully specified in the tender placed in 2020, were worked on together as part of an Innovation Cooperation and brought to implementation maturity: Train capability report (TCR), Future Rail Mobile Communication System (FRMCS) upgradeability, train integrity monitoring (TIM) and Open CCS Onboard Reference Architecture (OCORA) interfaces. The resulting solutions are intended to serve as models for upcoming retrofit projects.

### 1 Motivation

As part of the DKS, a pilot project in the starter package of Digitale Schiene Deutschland (DSD), the Stuttgart region will be gradually equipped by 2030 with digital interlockings, European Train Control system (ETCS) (without class B) and other






trol System (ETCS) „ohne Signale“ und weiteren Techniken des Digitalen Bahnsystems ausgerüstet [1]. Ein zentraler Bestandteil des Projekts liegt in der Aus- bzw. Nachrüstung von zunächst rund 500 Triebfahrzeugen mit ETCS und weiteren Techniken gemäß dem Betrieblich-Technischen Zielbild (BTZ) der DB. Erstmals in Deutschland werden dabei ganze Vollbahn-Flotten mit ETCS Level 3 (L3)/TIM, hochautomatisiertem Fahren (ATO GoA 2), dem GSM-R-Nachfolger FRMCS und TCR ausgerüstet. Die DB und ihre Partner treten damit den praktischen Nachweis an, wie eine eng aufeinander abgestimmte Ausrüstung von Fahrzeugen und Infrastruktur (Bild 1) nicht nur zu einer Maximierung der Fahrwegkapazität, sondern auch zu einem insgesamt schlankeren, robusteren Gesamtsystem führt [2, 3].






Die Ausrüstung der Fahrzeuge bewegt sich dabei in einem Spannungsfeld: Einerseits müssen alle Fahrzeuge bis 2025 mit ETCS ausgerüstet werden, weil dann die neue Infrastruktur im Kern des Knotens mit ETCS L2 „ohne Signale“ in Betrieb geht. Andererseits werden im Rahmen der Ende 2022 erwarteten TSI ZZS 2022 Neuerungen wie FRMCS kommen, die erst ab 2025 auf den Fahrzeugen umgesetzt werden können. Die Fahrzeuge werden daher in zwei Stufen ausgerüstet. In der ersten Stufe (bis 2025) soll möglichst die gesamte notwendige Hardware (z. B. Antennen für FRMCS) installiert werden, um so die Standzeit in der zweiten Stufe auf wenige Tage zu verkürzen [2, 3].

Den Schwerpunkt der Fahrzeugausrüstung bildet die Nachrüstung von 333 Triebzügen (Tab. 1), darunter die gesamte Flotte der S-Bahn Stuttgart sowie ein Teil der im Knoten Stuttgart verkehrenden Regionaltriebzüge. Dazu kommen 130 neue Doppelstock-Regionaltriebzüge, die „ab Werk“ ausgerüstet werden,

digital railway system technologies [1]. A central component of the project is the initial retrofitting of around 500 traction vehicles with ETCS and other technologies in accordance with DB’s Operating-Technical Objectives (BTZ). For the first time in Germany, entire mainline railway fleets will be equipped with ETCS Level 3 (L3) / TIM, highly automated driving (ATO GoA 2), the GSM-R successor FRMCS and vehicle status data transmission (TCR). DB and its partners are thus providing practical proof of how closely coordinated equipment of vehicles and infrastructure (fig. 1) not only maximises track capacity but also leads to a leaner, more robust overall system [2, 3]. The equipment of the vehicles is subject to conflicting priorities: on the one hand, all vehicles must be equipped with ETCS by 2025 since the new infrastructure in the core of the node will then be put into operation with ETCS L2 without Class B systems. On the other hand, innovations such as FRMCS will come within the framework of the TSI CSS 2022, expected at the end of 2022, which can only be implemented on the vehicles from 2025 onwards. The vehicles will therefore be equipped in two stages. In the first stage (by 2025), all the necessary hardware (e.g. antennas for FRMCS) should be installed, if possible, in order to reduce the downtime in the second stage to a few days [2, 3]. The focus of the vehicle equipment activities is the retrofitting of 333 train sets (tab. 1), including the entire fleet of the S-Bahn Stuttgart as well as a part of the regional multiple units operating in the Stuttgart node. In addition, there are 130 new double-decker regional train sets that are being equipped “ex works”, vehicles of the network maintenance as well as of other railway undertakings.

**Tab. 1: Übersicht über die 333 Triebzüge aus vier Baureihen, die für den DKS bis 2025 nachgerüstet werden**  
 Tab. 1: Overview of the 333 trainsets from four series that all will be retrofitted for the DKS by 2025 *Quelle/ Source: [2]*

	Typ	Anzahl	Hersteller	Inbetriebsetzung	Konfiguration	Eigentümer	Betreiber	Zugbeeinflussung
	Baureihe 423	60	Bombardier / Alstom	1999 – 2005	4-teilig	DB Regio	DB Regio	PZB
	Baureihe 430	97	Bombardier	2011 – 2016	4-teilig	DB Regio	DB Regio	PZB
		58 (2. Serie)	Bombardier	ab 2022				
	Flirt 3	13	Stadler	seit 2018	3-teilig	SFBW	Go-Ahead	PZB
		9		seit 2018	4-teilig			PZB, LZB
		19		seit 2018	5-teilig			PZB
		14		seit 2018	6-teilig			PZB, LZB
		11		seit 2019	„XL“, 3-teilig			PZB
	Talent 3	26	Bombardier	seit 2019 (Vorserie ab 2017)	3-teilig	SFBW	SWEG	PZB
		26			5-teilig			PZB

	Type	Number	Manufacturer	Commissioning	Configuration	Owner	Operator	Train protection
	Class 423	60	Bombardier / Alstom	1999 – 2005	4-part	DB Regio	DB Regio	PZB
	Class 430	97	Bombardier	2011 – 2016	4-part	DB Regio	DB Regio	PZB
		58 (2nd series)	Bombardier	from 2022				
	Flirt 3	13	Stadler	since 2018	3-part	SFBW	Go-Ahead	PZB
		9		since 2018	4-part			PZB, LZB
		19		since 2018	5-part			PZB
		14		since 2018	6-part			PZB, LZB
		11		since 2019	„XL“, 3-part			PZB
	Talent 3	26	Bombardier	since 2019 (pilot since 2017)	3-part	SFBW	SWEG	PZB
		26			5-part			PZB

Fahrzeuge der Netz-Instandhaltung sowie weiterer Eisenbahnverkehrsunternehmen.

**2 Konzept der Innovationskooperation**

Vor diesem Hintergrund entwickelten die DB und das Land Baden-Württemberg 2020 eine Innovationskooperation (IK), die in die Vergabeverfahren aufgenommen und im Juli 2021 an Alstom vergeben wurde. Der Auftragnehmer, die Auftraggeber (DB Regio und Landesanstalt Schienenfahrzeuge Baden-Württemberg (SFBW)), unterstützt von den Digitalisierungsexperten der DB, spezifizieren und konzipieren dabei gemeinsam Lösungen, die zum Zeitpunkt der Ausschreibung noch nicht abschließend ausdetailliert werden konnten. Auch in der Infrastruktur des DKS arbeiten Auftraggeber, Auftragnehmer und weitere Partner im Rahmen einer IK in ähnlicher Weise zusammen [4].

Im Rahmen der Fahrzeug-IK wurden die vier (in Kapitel 3 beschriebenen) Themenfelder FRMCS-Upgradefähigkeit, TCR, TIM sowie standardisierte Schnittstellen (OCORA) bearbeitet. Für alle diese wurden die CENELEC-Phasen 1 bis 5 durchlaufen. Aufbauend auf vorhandenen Grundlagen wurden zunächst Arbeitsinhalte definiert, auf dieser Grundlage Lastenheftanforderungen entwickelt und durch Alstom Pflichtenhefte erarbeitet, die schließlich durch die Auftraggeber einem Review unterzogen und freigegeben wurden. Arbeit und Ergebnisse der IK wurden dabei so generisch wie möglich gehalten, um sie auch in Folgeprojekten nutzen zu können. Bei der nachträglichen Integration in vorhandene Fahrzeuge stößt dies gleichwohl an Grenzen, da manche Anforderungen an die vorgefundenen Gegebenheiten angepasst werden müssen.

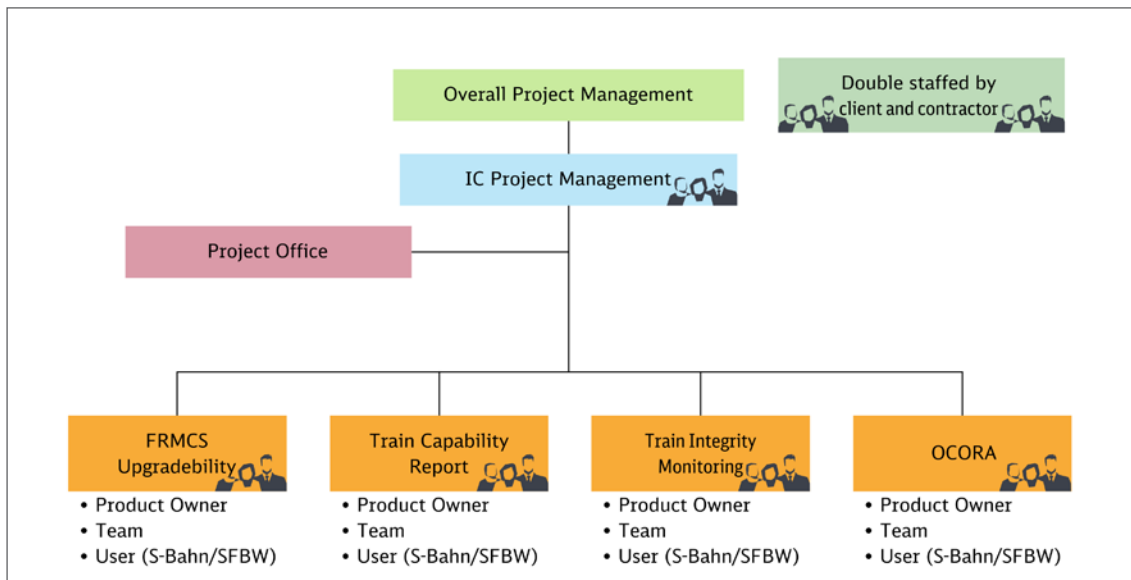
Um dem räumlich über zahlreiche Standorte verteilten Team, dem vorgesehenen Zeitrahmen von einem halben Jahr und den pandemiebedingt zunächst nicht möglichen Präsenzterminen Rechnung zu tragen, wurde ein agiler, an scrum [5] angelehnter, Ansatz gewählt (Bild 2): Unter einem übergeordneten Projektleiter wurde für jedes Themenfeld ein Product Owner (als technischer Verantwortlicher) und ein Team (zur fachlichen und inhaltlichen Bearbeitung) aufgestellt. Den Usern oblag es, Erfahrungen einzubringen und die Ergebnisse zu bewerten. Ein Scrum Master achtete auf die Einhaltung der Prozesse. Um in der Kooperation einen intensiven Austausch auf Augenhöhe zu fördern, sind Auftrag-

**2 Concept of innovative cooperation**

With that in mind, DB and the state of Baden-Württemberg developed an innovative cooperation (IC) in 2020, which was included in the procurement procedures and awarded to Alstom in July 2021. The contractor, the clients (DB Regio and Landesanstalt Schienenfahrzeuge Baden-Württemberg [SFBW]), supported by DB's digitisation experts, are jointly specifying and designing solutions that could not yet be finally detailed at the time of the tender. In the infrastructure of the DKS, the client, contractor, and other partners are also working together in a similar way within the framework of an IC [4].

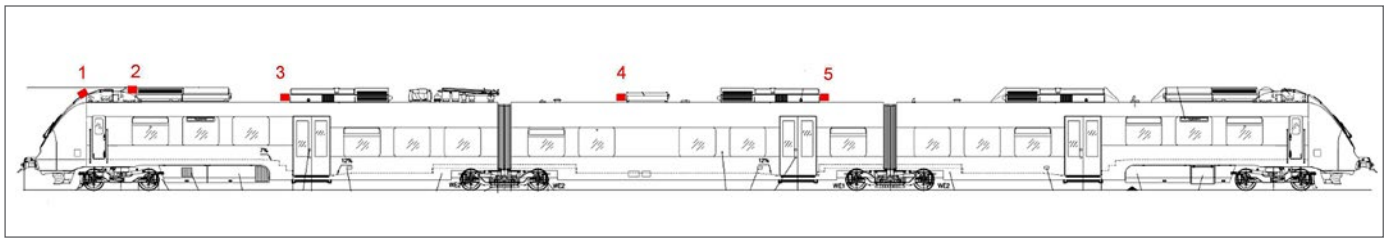
In the context of IC, the four topics (described in Chapter 3), i.e., FRMCS upgradeability, TCR, TIM as well as standardised interfaces (OCORA), were worked on. For all of these, the CENELEC phases 1 to 5 were run through. Based on the state-of-the-art, work content was initially defined and requirement specifications were developed on this basis, from which Alstom in turn developed requirements specifications, which were finally subjected to a review by the clients and released. The work and results of the IC were kept as generic as possible so that they could also be used in subsequent projects. However, this has its limits when it comes to subsequent integration into existing vehicles, as some requirements must be adapted to the existing conditions.

An agile approach based on scrum [5] was chosen to take the challenging circumstances into account: the team was spread over numerous locations, the planned half-a-year time frame and the fact that it was initially not possible to have face-to-face meetings due to the pandemic (fig. 2). Under a superordinating project manager, a product owner (as the technical person responsible) and a team (to work on the technical and content-related aspects) were set up for each topic area. Users were responsible for contributing experience and evaluating the results. A Scrum Master ensured that the processes were adhered to. To promote an intensive exchange at eye level in the cooperation, the contractor and the client had equal rights. The roles of product owner and project manager were filled equally by contractor and client. The project work was structured into epics, stories and tasks and recorded in the project backlog.



**Bild 2: Organigramm der IK**  
 Fig. 2: IC's organisation chart





**Bild 3: Anordnung der Antennen (für GSM-R, FRMCS und öffentlichen Mobilfunk) am Beispiel eines dreiteiligen Talent-Triebzugs**  
 Fig. 3: Arrangement of antennas (for GSM-R, FRMCS and public mobile radio) using the example of a three-vehicle Talent train set

die notwendige Hardware, z. B. Modems, Antennen (Bild 3) und Kabel, möglichst vollständig installiert, zunächst jedoch noch nicht in Betrieb gesetzt. So wird sichergestellt, dass die Fahrzeuge nach der aktuellen Spezifikation (Baseline 3 Release 2) ab 2025 zunächst mit ETCS (über GSM-R) fahren und ATO (über öffentlichen Mobilfunk) nutzen können, während gleichzeitig die weitere Standardisierung und die Klärung weiterer Rahmenbedingungen zu FRMCS noch abgewartet werden kann. In der zweiten Stufe, in den Jahren ab 2025, wird FRMCS in Betrieb gesetzt. Die notwendigen Arbeiten umfassen dann lediglich die Integration eines FRMCS-Gateways sowie ein Softwareupdate. Damit sind nur wenige Tage für Umbau und Zulassung in Stufe zwei erforderlich. Ausgehend von drei Lastenheftanforderungen aus der Ausschreibung von 2020 wurden im Rahmen der IK verschiedene betriebliche Szenarien betrachtet (Tab. 2) und eine dem Rechnung tragende Architektur entwickelt.

**3.2 Zugvollständigkeitsüberwachung (TIM)**

In ETCS L3 kann die Gleisfreimeldung durch das Fahrzeug an Stelle streckenseitiger Komponenten realisiert werden. Das Fahren in sehr kurzen diskreten Blöcken oder im absoluten Bremswegabstand (Moving Block) kann die Fahrwegkapazität vielfach steigern [8]. Eine Voraussetzung dafür ist die Überwachung der Zugvollständigkeit durch ein fahrzeugseitiges System (TIM) sowie eine sichere Ermittlung der Zuglänge beim Start of Mission. Im Rahmen dieses Teils der IK war ein System zu konzipieren, das ohne Mitwirkung des Triebfahrzeugführers funktioniert, die Zuglänge SIL-4-sicher sowie die Integrität SIL-2-sicher ermittelt sowie eine ungewollte Zugtrennung in unter 3,5 Sekunden erkennt und übermittelt. Auf dieser Grundlage wurden in einem ersten Schritt vier relevante Betriebsszenarien identifiziert: Neben Kuppeln, Entkuppeln und der Integritätsüberwachung während der Fahrt stand die Initialisierung beim Aufrüsten im Fokus. Besonders abgerüstete Consists [9], also betrieblich nicht trennbare Fahrzeuggruppen wie z. B. feste Einheiten von Triebzügen, stellen hier eine Herausforderung dar. Diese müssen beim Kuppeln durch andere Ein-

(Baseline 3 Release 2), while at the same time the further standardisation and clarification of further framework conditions for FRMCS can still be awaited. In the second stage, in 2025 and beyond, FRMCS will be put into operation. The necessary work will then only include the integration of an FRMCS gateway and a software update. This means that only a few days are required for conversion and approval in stage two. Based on three requirement specifications from the 2020 tender, various operational scenarios were considered in the context of the IC (tab. 2) and an architecture was developed to take this into account.

**3.2 Train integrity monitoring (TIM)**

In ETCS Level 3, track vacancy detection can be implemented by the vehicle itself instead of trackside components. Driving in very short discrete blocks or in absolute braking distance (moving block) can significantly increase the track capacity [8]. A prerequisite for this is the monitoring function of the train integrity by an on-board system (TIM) as well as a safe determination of the train length at mission start. Within the framework of this part of the IC, a system was to be conceptualized, that works without the involvement of the driver and determines the train length complying to SIL-4 level and the integrity function to SIL-2 level, which also detects and transmits an unintentional train separation within 3.5 seconds and transmits it. On this basis, four relevant operating scenarios were identified in a first step: in addition to coupling, uncoupling and TIM monitoring during the journey, the focus was on initialisation during set-up. Here, in particular, operationally inseparable vehicle groups (consists) [9], which were coupled to shut down consists, must be reliably detected. The concepts already developed in Shift2Rail [10, 11] and experience from an Alstom project in Italy [12] form an essential basis for the architecture to be defined. Alstom will implement the functions directly as a software application on the SIL-4-safe European Vital Computer (EVC); separate hardware is therefore not required. In all four

Szenario	ETCS-Kommunikationstechnologie	ATO-Kommunikationstechnologie
1 (Basis)	GSM-R über GSM-R-Antennen und in EVC integrierten Modems	4G/5G (öffentlich) über 4G/5G SISO-Antenne und 4G/5G-Modem
2 (opt.)	FRMCS (5G) über FRMCS-MIMO-Antennen und 5G-Modem/Netbox	4G/5G (öffentlich) über 4G/5G-SISO-Antenne und 4G/5G-Modem
3 (opt.)	GSM-R über GSM-R Antennen und in EVC integrierten Modems	FRMCS (5G) über FRMCS-MIMO-Antennen und 5G-Modem/Netbox
4 (Zielzustand)	FRMCS (5G) über FRMCS-MIMO-Antennen und 5G-Modem/Netbox	FRMCS (5G) über FRMCS-MIMO-Antennen und 5G-Modem/Netbox

Scenario	ETCS communication technology	ATO communication technology
1 (basis)	GSM-R via GSM-R antennas and modems integrated in the EVC	4G/5G (public) via 4G/5G SISO antenna and 4G/5G modem
2 (opt.)	FRMCS (5G) via FRMCS MIMO antennas and 5G modem/netbox	4G/5G (public) via 4G/5G SISO antenna and 4G/5G modem
3 (opt.)	GSM-R via GSM-R antennas and modems integrated in the EVC integrated modems	FRMCS (5G) via FRMCS MIMO antennas and 5G modem/netbox
4 (goal)	FRMCS (5G) via FRMCS MIMO antennas and 5G modem/netbox	FRMCS (5G) via FRMCS MIMO antennas and 5G modem/netbox

**Tab. 2: Betriebliche Szenarien im Kontext von FRMCS**  
 Tab. 2: Operational scenarios in the context of FRMCS

Quelle / Source: IC results

heiten sicher erkannt werden. Eine wesentliche Grundlage für die zu definierende Architektur stellen die bereits in Shift2Rail entwickelten Konzepte [10, 11] sowie Erfahrungen aus einem Projekt Alstoms in Italien dar [12]. Die Funktionen werden von Alstom direkt als Softwareapplikation auf dem SIL-4-sicheren European Vital Computer (EVC) umgesetzt; gesonderte Rechner-technik ist somit nicht erforderlich. Bei allen vier Fahrzeugtypen des Projekts sind die Wagen eines Consists über Jakobsdrehgestelle verbunden. Aus diesem Grund kann eine unerkannte Zugtrennung innerhalb des Consists ausgeschlossen werden, sodass eine technische Integritätsüberwachung hier nicht erforderlich ist. Eine Trennung zwischen gekoppelten Consists muss hingegen erkannt werden. Hierzu wird die Kommunikation der EVC, auf denen die OTI-Applikation (Onboard Train Integrity) sicher ausgeführt wird, über das Train Communication Network (TCN) genutzt. Die OTI-Applikation im Consist mit dem aufgerüsteten Führerraum sendet als „Master“ eine Initialisierungsanfrage an die anderen EVC im Zugverband, die darauf mit ihrer jeweiligen Länge antworten. Anschließend tauschen die OTI-Applikationen des ersten und letzten Consists zyklisch Signale aus und bestätigen somit die Zugvollständigkeit.

Diese Lösung wurde an den betrieblichen Notwendigkeiten gespiegelt und entsprechend ausdetailliert. Die technischen Abläufe, die während dieser Betriebsszenarien ablaufen, wurden mithilfe der SysML-Methodik beschrieben (Bild 4).

Die auf dieser Grundlage durchgeführte Fehlerbaumanalyse der angedachten technischen Lösung zeigte zwei kritische Szenarien für die Zuglängenermittlung auf:

vehicle types of the project, the vehicles of a consist are coupled via Jacobs-type bogies. For this reason, undetected train separation within the consist can be ruled out, therefore technical integrity monitoring is not required here. A separation between coupled consists, on the other hand, must be detected. For this purpose, a communication between the EVCs on which the OTI application (onboard train integrity) is safely executed is used via the train communication network (TCN). The OTI application in the consist with the active driver's cab sends a "master" initialisation request to the other EVCs in the train composition, which respond with their respective length. Subsequently, the OTI applications of the first and last consists cyclically exchange signals and thus confirm train completeness.

This solution was challenged to the operational necessities and detailed accordingly. The technical processes that take place during these operational scenarios were described using the SysML methodology (fig. 4).

The fault tree analysis of the envisaged technical solution carried out on this basis revealed two critical scenarios for train length determination:

- Failure to detect a non coupled Consist at the end of the train (ghost tail): for this, the mechanical condition of the Scharfenberg coupler must be monitored by two independent, antivalent position switches. On class 423 vehicles, a second switch must be retrofitted, the other train types fulfil this requirement.
- An undetected consist in the middle of the train (ghost trunk): an antivalent, alternating signal on two control lines,

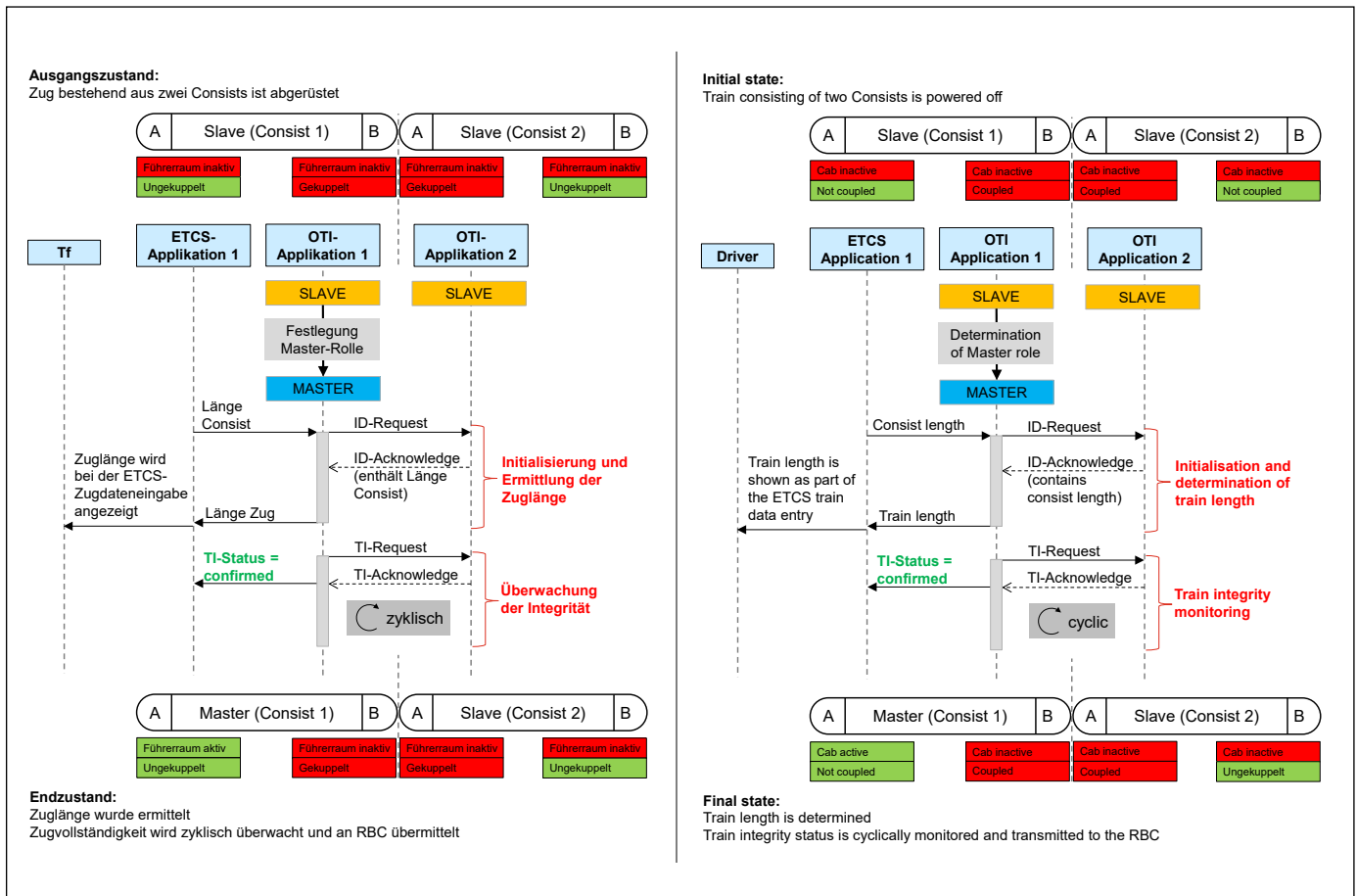


Bild 4: Betriebsszenario "Initialisierung und Ermittlung der Zuglänge" bei einem Zug, der aus zwei gekoppelten Consists besteht

Fig. 4: Operating scenario "Initialisation and determination of train length" for a train comprising two coupled consists

- Das Nicht-Erkennen eines nicht angekuppelten Consists am Ende des Zuges (Ghost Tail): Hierzu muss der mechanische Zustand der Scharfenberg-Kupplung durch zwei unabhängige, antivalente Positionsschalter überwacht werden. Bei der Baureihe 423 muss ein zweiter Schalter nachgerüstet werden, die übrigen Baureihen erfüllen diese Anforderung.
- Ein unerkannter Consist in der Mitte des Zuges (Ghost Trunk): Durch ein antivalentes, alternierendes Signal auf zwei nachzurückführenden Steuerleitungen zwischen den EVC wird eine Detektion mit ausreichender Zuverlässigkeit gewährleistet.

Die aus Gründen der Streckenkapazität geforderte maximale Offenbarungszeit zur Erkennung und Übermittlung einer Zugtrennung von unter 3,5 Sekunden erwies sich als besondere Herausforderung: In ETCS L3 übermittelt das Fahrzeug, als Teil des Position Reports, den TIM-Status als „unknown“, „confirmed“ oder „lost“ mit Zeitstempel und Ortsinformation an das Radio Block Centre (RBC) [13]. Maßgebend für die sicherheitsrelevante Gleisfreimeldung ist „confirmed“. Der TI-Status wird dabei durch einen TI-Request des führenden EVC und des darauffolgenden TI-Acknowledge (TI-Ack) der letzten Einheit ermittelt (Bild 4). Für den Position Report maßgebend sind Zeit und Ort des TI-Request. Folglich führt eine kürzere Signallaufzeit zu einer geringen Diskrepanz zwischen übermittelter und tatsächlicher Position des Zuges und somit mehr Streckenkapazität im L3-Betrieb. Eine möglichst kurze Signallaufzeit ist ferner geboten, damit ein einzelner ausbleibender TI-Ack nicht unmittelbar zum Übergang in den Zustand „lost“ und daraus folgenden Sicherheitsreaktionen führt. Im Verlauf der IK hat sich gezeigt, dass für eine ausreichend kurze Signallaufzeit ein ausreichend performantes TCN (beispielsweise Ethernet) im Fahrzeug vorhanden sein muss. Bei Fahrzeugen, bei denen ein anderer Datenbus vorhanden ist, ist entweder eine Zugsteuerleitung zwischen den EVC, deren Unterbrechung zu einer unmittelbaren „lost“-Erkennung führt, oder ein dediziertes Ethernet-Netzwerk nachzurüsten.

**3.3 Train Capability Report (TCR)**

Aktuelle Fahrzeugzustandsdaten (TCR) sind u. a. eine wesentliche Grundlage für das im Rahmen der DSD geplante Kapazitäts- und Verkehrsmanagementsystem CTMS, um die Netzauslastung

which must be retrofitted, connecting the EVCs ensures detection with sufficient reliability.

To ensure a high track capacity, a maximum disclosure time for the detection and transmission of a train separation of less than 3.5 seconds is required. This proved to be a particular challenge: in ETCS L3, the vehicle transmits the TIM status as “unknown”, “confirmed” or “lost” together with a time stamp and location information to the Radio Block centre (RBC) as part of the position report [13]. Safety-relevant for track clearance is the message “confirmed”. The TI-status is determined by a TI-request from the leading EVC and the subsequent TI-acknowledge (TI ack) from the last unit (fig. 4). The time and respective location at which the TI request was confirmed with regards to the position report are crucial for the performance of the system. Consequently, a shorter signal propagation time leads to a smaller discrepancy between the transmitted and actual position of the train end and thus to more track capacity in L3 operation. In addition, it is important that the signal runtime is as short as possible so that a single missing TI ack does not immediately lead to a transition to the “lost” state and the resulting safety reactions. One finding of the IC is that for a sufficiently short signal propagation time, a sufficiently performant TCN (for example Ethernet) must be available in the vehicle. For vehicles equipped with slower data bus systems, either a train control line between the EVCs, whose interruption leads to an immediate “lost” detection, or a dedicated ethernet network must be retrofitted.

**3.3 Train capability report (TCR)**

Information on the current condition of the vehicle (TCR) is an essential basis for using the infrastructure more efficiently. They enable, for example, the Capacity and Traffic Management System (CTMS, planned within the framework of the DSD) to continuously optimise infrastructure usage. Within the framework of the IC, the vehicle characteristics to be transmitted were worked out based on the requirements for the future control of railway operations (tab. 3) and corresponding data packages were defined in an interface specification.

The ATO on-board unit (ATO-OB) transmits data provided by on-board subsystems such as the ETCS on-board unit (ETCS-

Zugkonfiguration	Anzahl, Reihung und Orientierung der Fahrzeuge und betrieblich nicht trennbaren Consists, Anzahl und Reihung der Fahrzeuge jeweils pro Consist, europäische Fahrzeugnummer (EVN) der Consists / Fahrzeuge
ETCS-Zugdaten	Länge, Höchstgeschwindigkeit, internationale Zugkategorie, Zugkategorie bezüglich Achslast und Überhöhungsfehlbetrag, nominale rotierende Masse des Zuges, Bremsstellung, angewendetes Bremsmodell, Bremsleistung
Status Spezialbremsen	regenerative Bremse, Magnetschienenbremse, Wirbelstrombremse, elektropneumatische Bremsen, (sonstige) reibwertunabhängige Bremsen
Maximales Beschleunigungs- und Bremsvermögen	verfügbare Zugkraft, Traktionsleistung, verfügbare dynamische Bremskraft und -leistung, Betriebsbremskraft, dynamische Bremsleistung, verfügbare Betriebsbremskraft
Beladung bzw. Passagierauslastung	Masse (einschließlich Beladung) sowie Besetzungsgrad, jeweils je Zug, Consist und Fahrzeug
Türen und Fahrgastwechsel	• Status jeweils pro Tür • Fahrgastwechselzeit gesamt und jeweils pro Tür • Zeit zwischen Stillstand und Freigabe bzw. Öffnen der Türen
Weitere Informationen	Außentemperatur, Stromabnehmerstatus, maximal zulässige Stromaufnahme jeweils pro Consist, verfügbarer Reibwert

Train configuration	Number, sequence, and orientation of vehicles and operationally inseparable consists, number and sequence of vehicles per consist, European vehicle number (EVN) of consists / vehicles
ETCS train data	Length, maximum speed, international train category, train category with regard to axle load and cant deficiency, nominal rotating mass of the train, brake position, applied brake model, brake percentage
Special brake status	Regenerative brake, magnetic shoe brake, eddy-current brake, electro-pneumatic brake, (additional) adhesion-independent brakes
Maximum acceleration and braking capacity	Available tractive force, tractive output power, available dynamic brake force and power, service brake force
Load / passenger load	Mass (including load) as well as occupancy rate, each per train, consist and vehicle
Doors and passenger exchange	Status per door, total and per door passenger exchange time, time between standstill and release or opening of the doors
Additional information	Outside temperature, pantograph status, maximum allowed current per consist, available adhesion coefficient

**Tab. 3: Überblick über die im Rahmen des TCR bereitgestellten Informationen**

Tab. 3: Overview of the information provided in the TCR

Quelle / Source: IC results

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Deutsche Bahn AG, DB Netz AG, DB Regio AG, S-Bahn Stuttgart, Alstom Transport Deutschland, Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

zu optimieren. Im Rahmen der IK wurden auf Grundlage der Anforderungen zur zukünftigen Steuerung des Eisenbahnbetriebs die zu übertragende Fahrzeugeigenschaften ausgearbeitet (Tab. 3) und in einer Schnittstellenspezifikation entsprechende Datenpakete definiert.

Das ATO-Fahrzeuggerät (ATO-OB) überträgt Daten, die von fahrzeugseitigen Subsystemen wie dem ETCS-Bordgerät (ETCS-OBU) oder der Fahrzeugsteuerung (TCMS) bereitgestellt werden, über die für den ATO-Betrieb ohnehin vorhandene Schnittstelle zur ATO-Streckenzentrale (ATO-TS). Dabei wird die Schnittstellenspezifikation Subset-126 [14] um zusätzliche Datenpakete für die TCR-Verbindung erweitert. Die Daten werden von der ATO-TS über eine Datendrehscheibe an weitere streckenseitige Systeme verteilt (Bild 5).

Nach dem Aufbau der ATO-Verbindung fragt die ATO-TS dabei eine TCR-Verbindung an. TCR-fähige Fahrzeuge senden daraufhin ein erstes TCR-Datenpaket. Weitere TCR-Pakete werden anschließend entweder aufgrund definierter, fahrzeugseitiger Bedingungen (z. B. Abfahrt nach einem Halt) oder auf Anfrage der Infrastruktur ausgelöst. Mit ATO ausgerüstete, jedoch nicht TCR-fähige Fahrzeuge verwerfen hingegen bereits die initiale Anfrage der TCR-Verbindung.

Die Definition des TCR-Datenpakets ermöglicht eine Variation der übertragenen Daten ohne Anpassung der Schnittstellendefinition, sodass baureihenspezifisch auch nur eine Teilmenge der Fahrzeugeigenschaften übertragen werden kann. Ferner wurde ein Versionsmanagement integriert, um zukünftige Änderungen

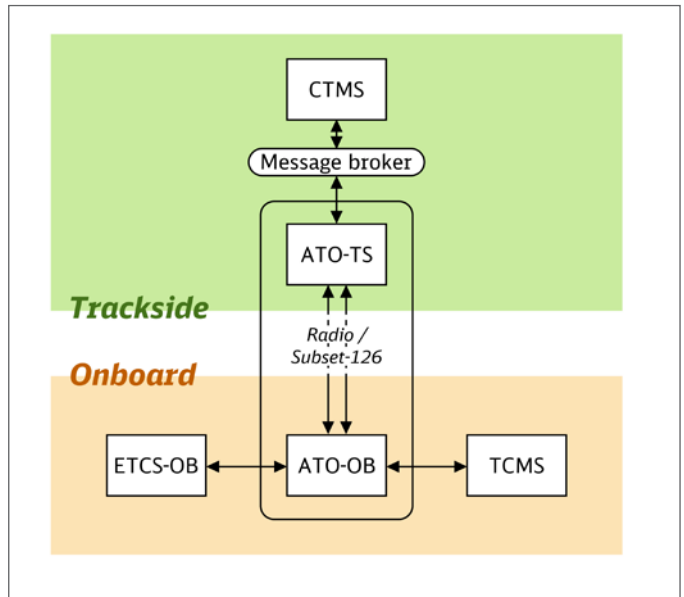


Bild 5: TCR im Kontext der Architektur (Ausschnitt)

Fig. 5: Context of TCR in architecture (excerpt)

OBU) or the train control management system (TCMS) via the interface to the ATO-trackside (ATO-TS), which is available for ATO operation anyway. In doing so, the interface spec-

# READY FOR FRMCS

funkwerk

## THE FUTURE OF COMMUNICATION BY RAIL

Future-proof your railway operations with us

We have a fixed eye on the future train radio standard FRMCS and are actively involved in its development.

- » supplement our modular MESA® product family with powerful 5G radio modules
- » we secure your investment with multi-mode train radios "Made in Germany"
- » contact us now!

+49 3635 458-0 | info@funkwerk.com

Funkwerk Systems GmbH | funkwerk.com



oder Erweiterungen zu ermöglichen. Die im Rahmen der IK entstandene TCR-Schnittstellenfunktion ist eine Erweiterung der in Subset-126 definierten Schnittstelle. Auf dieser Grundlage wurden die baureihenspezifischen Umsetzungen in den Pflichtenheften beschrieben. Zudem ist dies die Basis zur Umsetzung des TCR in weiteren Projekten.

### 3.4 OCORA

Im Rahmen von OCORA arbeiten NS, ÖBB, SBB, SNCF, NS und DB gemeinsam daran, eine europäisch standardisierte, modulare und erweiterbare Fahrzeugarchitektur zu schaffen [15]. Im DKS-Retrofit-Projekt werden die beiden Schnittstellen zwischen der Fahrzeugsteuerung und der ETCS-OB [16] bzw. der ATO-OB [17] umgesetzt. Damit sollen spätere Änderungen, etwa der herstellerunabhängige Ersatz oder die Erweiterung des ATO-Moduls, erleichtert werden.

Innerhalb der IK wurden die beiden zugrunde liegenden Subsets anhand der vier Fahrzeugtypen generisch weiterentwickelt, dabei wo möglich vereinfacht und Lücken geschlossen. Hierzu wurde in Workshops zunächst ein gemeinsames Verständnis zu den Signalen der Schnittstelle erarbeitet und daraus eine Systematik zur Auswahl sinnvoller Standardkonfigurationen und der Testverfahren festgelegt. Da der Rahmen durch die Subsets vorgegeben war, ging es um eine Erfassung von Detailfragen und eine Systematisierung der Funktionsauswahl. Die Ergebnisse fließen nun in die generische Schnittstellendefinition von OCORA ebenso wie in die Pflichtenhefte im Projekt ein.

## 4 Fazit und Ausblick

In gerade einmal einem halben Jahr enger Zusammenarbeit ist es gelungen, die Weichen für einige wegweisende Themen für die Digitalisierung der Eisenbahn zu stellen. Von der insgesamt sehr kollegialen und sachorientierten Zusammenarbeit – über alle Organisations-, Landes- und Sprachgrenzen hinweg – profitierten dabei Auftraggeber und -nehmer gleichermaßen: Im direkten, offenen wie auch intensiven Austausch wurde nicht nur ein tragfähiges Fundament für die Ausrüstung der 333 Triebzüge für den DKS geschaffen, sondern auch eines, das in weiteren Projekten im Rahmen des weiteren Roll-outs verwendet werden kann. Zunächst werden die Ergebnisse sowohl in den neuen Doppelstockfahrzeugen als auch in den Fahrzeugen der ETCS-Ersatzfahrzeugflotte Stufe 2 des Landes Baden-Württemberg Anwendung finden, genauso wie in allen zukünftigen Fahrzeugbeschaffungen des Landes.

Im Lichte von Pandemie und Zeitdruck hat sich der agile und weitgehend virtuelle Projektaufsatz der IK dabei als robust erwiesen. Auch wenn ein persönlicher Austausch nicht vollständig ersetzt werden konnte, hat die rein virtuelle Zusammenarbeit das Team zusammengeschweißt. Der organisatorische Aufwand dafür war gleichwohl erheblich – gerade um anfangs einen für alle Beteiligten vorteilhaften Arbeitsmodus zu finden und dabei die begehrten Experten von beiden Seiten zügig zusammenzubringen. Dieser Aufwand sollte nicht unterschätzt, sondern bereits in der Konzeption und Planung einer IK realistisch berücksichtigt werden. Der Umfang der Beteiligung bzw. der Ressourceneinsatz sollte vertraglich so präzise wie möglich festgelegt werden.

Die gesteckten Ziele der Innovationskooperation wurden am Ende erreicht. Ihre Ergebnisse fließen bereits in den seit März 2022 laufenden Prototyp-Umbau erster Triebzüge ein, der bei den meisten Fahrzeugtypen Ende 2023 abgeschlossen werden soll. Gerade einmal zwei Jahre nach Beginn der IK werden diese

ification Subset-126 [14] is extended by the definition of additional data packets for the TCR connection. The data is distributed from the ATO-TS to other trackside systems via a data hub (fig. 5).

After the ATO connection has been established, the ATO-TS requests a TCR connection. In response, TCR-capable vehicles send a first TCR data packet. Further TCR packets are then triggered either based on defined conditions on the vehicle side (e.g. departure after a stop) or upon request by the infrastructure. Vehicles equipped with ATO which are not TCR-capable, on the other hand, already reject the initial request for the TCR connection.

The definition of the TCR data package enables an adaption of the transmitted data without changes in the interface definition. By this, a subset of the vehicle properties can be transmitted, depending on the train series. Furthermore, version management was integrated to enable future changes or extensions. The TCR interface function created in the scope of the IC is an extension of the interface defined in Subset-126. On this basis, the train-series-specific implementations were described in the project-specific specifications. In addition, this is the basis for implementing the TCR in further projects.

### 3.4 OCORA

Within the framework of OCORA, NS, ÖBB, SBB, SNCF, NS and DB are working together to create a standardised European modular and expandable vehicle architecture [15]. In the DKS retrofit project, the two interfaces between the vehicle control and the ETCS-OB [16] or the ATO-OB [17] are implemented. This is to facilitate later modifications, such as the manufacturer-independent replacement or extension of the ATO module.

In the scope of the IC, the two underlying subsets were further generically developed based on the four train types considered in this IC. Simplifications were made where possible and gaps have been closed. For this purpose, a common understanding of the signals of the interface was first developed in workshops, and from this a system for the selection of reasonable standard configurations and the test procedures was determined. Since the framework was provided by the subsets, we focused on recording detailed questions and systematising the selection of functions. The results will now be incorporated into the generic interface definition of OCORA as well as into the project requirement specifications.

## 4 Conclusion and prospects

In just six months of close cooperation, we have succeeded in setting the course for some ground-breaking topics for the digitisation of the railway. Contractor and clients benefited from the very collegial and objective cooperation – despite all organisational, national and linguistic boundaries: in the direct, open, as well as intensive exchange, not only was a sustainable foundation for the equipment of the 333 train sets for the DKS created, but also one that can be used in further projects as part of the further rollout. To begin with, the results will be applied in the new double-decker vehicles as well as in the vehicles of the ETCS replacement vehicle fleet stage 2 of the state of Baden-Württemberg, just as they will be in all future vehicle procurements of the state.

Considering the pandemic situation and time pressure, the agile and largely virtual project approach has proven to be robust in this regard. Even if a face-to-face exchange could not be com-

Züge ab 2024 für den Versuchs- und Vorlaufbetrieb mit ETCS sowie Tests und Versuche mit weiteren Techniken eingesetzt. 2025 wird der Kern des Knotens mit ETCS in Betrieb gehen, die weiteren Techniken darauf sukzessive folgen. ■

pletely replaced, the purely virtual collaboration lead to a very strong team spirit. The required organisational effort was nevertheless considerable – especially to find a working mode that was advantageous for all participants at the beginning and to bring together the sought-after experts from both sides quickly. This effort should not be underestimated but must be realistically considered in the conception and planning of an IC. The extent of participation or resources input should be contractually defined as precisely as possible.

All goals set for the innovation cooperation were in the end achieved on time. Its results are already being incorporated into the prototype conversion of the first trainsets, which started in March 2022 and is scheduled to be completed for most vehicle types by the end of 2023. Just two years after the start of the IC, these trains will be used from 2024 for trial and preliminary operation with ETCS as well as tests and trials with other technologies. In 2025, the core of the DKS will go into operation with ETCS, with the other technologies following successively. ■

## AUTOREN | AUTHORS

### Dipl.-Ing. (FH) Christian Flöter

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

### Fabian Raichle, M. Sc.

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

### Dipl.-Ing. Thomas Höhne

Senior Expert Automatic Train Operation  
DB Netz AG  
Anschrift / Address: Stresemannstraße 123, D-10963 Berlin  
E-Mail: thomas.th.hoehne@deutschebahn.com

### Johannes Köstlbacher, M. Sc.

Signalling System Engineer  
Alstom Transport Deutschland GmbH  
Anschrift / Address: Joachimsthaler Straße 12, D-10719 Berlin  
E-Mail: johannes.koestlbacher@alstomgroup.com

### Nilesh Sane, B. Eng.

Project Engineering Manager  
Alstom Transport Deutschland GmbH  
Anschrift / Address: Joachimsthaler Straße 12, D-10719 Berlin  
E-Mail: Nilesh.sane@alstomgroup.com

### Dipl.-Ing. (FH) Michael Sauer

ETCS/ATO Expert  
DB Regio AG, S-Bahn Stuttgart  
Anschrift / Address: Eisenbahnstraße 42, D-73207 Plochingen  
E-Mail: michael.m.sauer@deutschebahn.com

### Dr.-Ing. Joachim Schlichting

Lead Vehicles DBS@DKS  
DB Netz AG  
Anschrift / Address: Stresemannstraße 123, D-10963 Berlin  
E-Mail: joachim.schlichting@deutschebahn.com

### Philipp Wagner, M. Sc.

Expert „Digital Rail“ Project Group  
Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg  
Anschrift / Address: Dorotheenstr. 8, D-70173 Stuttgart  
E-Mail: philipp.wagner@vm.bwl.de

## LITERATUR | LITERATURE

- [1] Bitzer, F.; Blateau, V.; Lammerskitten, C.; Lück, B.; Neuhäuser, R.; Vogel, T.; Wurmthaler, J.: Quo vadis Digitale Leit- und Sicherheitstechnik? DER EISENBAHNINGENIEUR, 11/2021, <https://bit.ly/3Hv72X6>
- [2] Dietrich, F.; Meyer, M.; Neuhäuser, R.; Rohr, F.; Vogel, T.; Wenkel, N.: Fahrzeugnachrüstung für den Digitalen Knoten Stuttgart, DER EISENBAHNINGENIEUR, 9/2021, <https://bit.ly/3tFQWUB>
- [3] Dietrich, F.; Erdmann, J.; Jost, M.; Raichle, F.; Sane, N.; Vogel, T.; Wagner, P.: Nachrüstung von 333 Triebzügen für den Digitalen Knoten Stuttgart, ZEVrail, 5/2022
- [4] Barth, P.; Marc Behrens, M.; Kümmling, M.; Mehnert, S.; Nenke, T.; Pieper, W.; Retzmann, M.; Trinckauf, J.: Innovationskooperation zur LST-Infrastruktur im Digitalen Knoten Stuttgart, SIGNAL+DRAHT, 7+8/2022, <https://bit.ly/3PR8NRF>
- [5] ScrumAlliance: The State of Scrum: Benchmarks and Guidelines, 6/2013 <https://bit.ly/3Kmw4tL>
- [6] 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>
- [7] Gonzalez, J.; Cotellet, P.; Chevalier, D.; Hausmann, F.: FRMCS – wichtiger Wegbereiter für die Digitalisierung der Schiene, SIGNAL+DRAHT, 3/2022
- [8] Büker, T.; Hennig, E.; Schotten, S.: Kapazitätsberechnung im Moving Block – die Tücke im Detail, Eisenbahntechnische Rundschau, 7/2020, <https://bit.ly/3mJ6CDP>
- [9] Consist nach IEC 61375-1:2012: Einzelnes Fahrzeug oder Gruppe von Fahrzeugen, welche im Bahnbetrieb nicht getrennt werden [...]
- [10] X2R2-WP4-D-ANS-049-02\_-\_D4.1\_Train\_Integrity\_Concept\_and\_Functional\_Requirement\_Specification\_V5.0
- [11] X2R2-WP4-D-ANS-050-05\_-\_D4.2\_Functional\_architecture\_&\_Interfaces\_specifications\_&\_Candidate\_technologies\_selection\_V3.0
- [12] Baglivo, S.; Blateau, V.; Senesi, F.: Innovative ETCS-Funktionen für stark beanspruchte Bahnknoten, DER EISENBAHNINGENIEUR, 6/2020
- [13] Gemäß SUBSET 026 und CR 940 zur ETCS-Spezifikation
- [14] ATO over ETCS ATO-OB/ATO-TS FFFIS Application Layer (Subset-126; Version 0.1.0), <https://projects.shift2rail.org/download.aspx?id=21195ac1-ce18-41e0-8b19-baa9c9f8a163>
- [15] Mühlemann, R.: OCORA – Die europäische Initiative zur ETCS-Fahrzeugausrüstung der Zukunft, SIGNAL+DRAHT, 9/2020
- [16] gemäß SUBSET 119 der kommenden TSI ZS 2022
- [17] gemäß SUBSET 139 der kommenden TSI ZS 2022