

Nachrüstung von 333 Triebzügen für den Digitalen Knoten Stuttgart

Retrofitting 333 EMUs for Stuttgart Digital Node

Dipl.-Ing. Frank Dietrich, Plochingen (Deutschland), M. Sc. Jan Erdmann,
Dipl.-Ing. Matthias Jost, Berlin (Deutschland), M. Sc. Fabian Raichle, Plochingen (Deutschland),
Elektro-Ingenieur Nilesh Sane, Berlin (Deutschland), Dipl.-Ing. Thomas Vogel,
M. Sc. Philipp Wagner, Stuttgart (Deutschland)

Zusammenfassung

Für den Digitalen Knoten Stuttgart werden insgesamt 333 S-Bahn- und Regional-Triebzüge für das Europäische Zugbeeinflussungssystem ETCS und mit weiteren Techniken nachgerüstet. Erstmals in Deutschland werden ganze Vollbahn-Flotten mit ETCS Level 3, ATO GoA 2 (Automatic Train Operation mit der Stufe hochautomatisierter Zugbetrieb) und FRMCS (Future Railway Mobile Communication System) ausgerüstet. Die neue EVC3-Plattform von Alstom (EVC – European Vital Computer – ein sicherer Fahrzeugrechner) ist dabei eine wesentliche Säule eines gleichermaßen robusten wie hochleistungsfähigen Gesamtsystems. Ein Dreivierteljahr nach Auftragsvergabe hat die Umrüstung erster Prototypen begonnen, die Serienumrüstung von mehr als 300 Triebzügen ist weitgehend für das Jahr 2024 geplant. Das facettenreiche und in Deutschland bislang einzigartige Großprojekt lässt Chancen und Herausforderungen für den bevorstehenden „Rollout“ erkennen.

Abstract

A total of 333 S-Bahn and regional multiple units are to be retrofitted with ETCS and other technologies for the Stuttgart Digital Node. For the first time in Germany, entire mainline railway fleets are fitted with ETCS Level 3, ATO GoA 2, FRMCS and other technologies. Alstom's new EVC3 platform is a key pillar of an overall system that is as robust as it is high-performance. Nine months after the award, the conversion of the first prototypes has now begun, and the series conversion of more than 300 multiple units is planned for 2024. The multi-faceted large-scale project, which is unique in Germany to date, reveals opportunities and challenges for the forthcoming rollout in Germany.

1 Motivation

Um 2035 das gesamte Netz der Deutschen Bahn u.a. mit Digitalen Stellwerken (DSTW) und ETCS Level 2 „ohne Signale“ (L2oS) als Trägersystem für die Digitalisierung der Schiene auszurüsten, sind etwa 13.000 Triebfahrzeuge aus rund 350 Baureihen umzurüsten [1]. Im Rahmen des Pilotprojekts Digitaler Knoten Stuttgart (DKS) wird erstmals ein großer Knoten in Deutschland mit DSTW, ETCS L2oS und weiteren Techniken aus-

gerüstet. Das Projekt soll den ganz praktischen Nachweis erbringen, dass dies in großen Knoten nicht nur technisch machbar, sondern auch sinnvoll und wirtschaftlich ist. Es ist dabei Teil des Starterpakets der Digitalen Schiene Deutschland (*Bild 1*), in dessen Rahmen bis 2030 die Grundlagen für die flächenhafte Einführung von DSTW und ETCS gelegt und wesentliche Erfahrungen dafür gewonnen werden [2].

Der Kern des Knotens (Bausteine 1 und 2 des DKS) geht abschnittsweise zwischen

Ende 2023 und Ende 2025 in Betrieb, in den Jahren 2027 bis 2030 folgt schrittweise das Umland (Baustein 3). Im Endausbau wird der DKS rund 500 Netzkilometer umfassen, darunter das gesamte heutige S-Bahn-Netz, die Infrastruktur des Bahnprojekts Stuttgart 21, den Rangierbahnhof Kornwestheim und das Endstück der Schnellfahrstrecke Mannheim–Stuttgart genauso wie beispielsweise Gleisanschlüsse und Nebenbahnen. Damit einhergehend wird auch die neue Technik schrittweise in Betrieb gesetzt: Auf erste

DSTW-Teilbereiche (ab Ende 2023) folgt ETCS, zunächst zu Testzwecken, ab 2025 kommerziell und unter hohen Leistungsanforderungen. Wenn dieses Fundament geschaffen ist, werden darauf – im Einklang mit dem Betrieblich-Technischen Zielbild (BTZ) [3] von DB Netz – unter anderem Fahrbetrieb ATO GoA 2 ¹⁾, der GSM-R-Nachfolger FRMCS, das Kapazitätsmanagement- und Verkehrsleitsystem CTMS (Capacity & Traffic Management System) und ETCS Hybrid Level 3 aufgebaut bzw. pilotiert [2]. Das Projekt geht auf eine 2017/2018 durchgeführte Untersuchung zur Einführung von ETCS im Kernnetz der S-Bahn Stuttgart zurück [4]. Um im Kern des Knotens bereits ab 2025 etwa 1.700 Züge [5] pro Tag „ohne Signale“ [6] stabil und mit größtmöglicher Leistungsfähigkeit sowie weiter erhöhter Sicherheit zu fahren, reicht es nicht aus, die Fahrzeuge so einfach wie möglich mit ETCS nachzurüsten. Es ist vielmehr und mehr denn je unabdingbar, das Gesamtsystem in den Blick zu nehmen [7]. Dies gilt insbesondere, da mit Signalisierung und Gleisfreimeldung wesentliche Funktionen der Infrastruktur zumindest teilweise auf das Fahrzeug verlagert werden (Bild 2). Aufbauend auf den Erkenntnissen der S-Bahn-ETCS-Untersuchung [8]

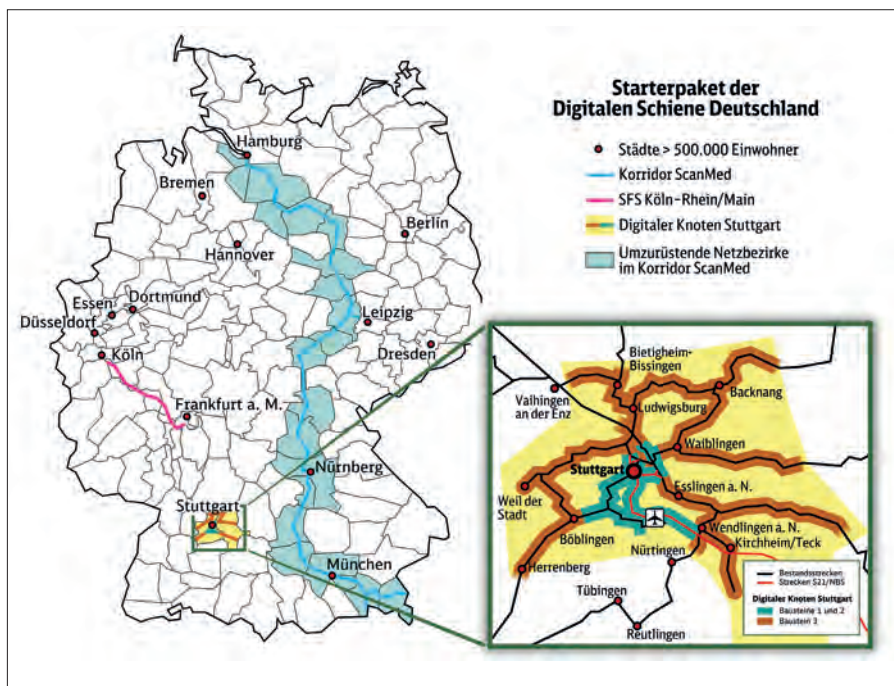


Bild 1: Der Digitale Knoten Stuttgart als Teil des Starterpakets der Digitalen Schiene Deutschland

wurden bei der Konzeption des DKS eine Reihe von großen und kleinen Wechselwirkungen erkannt, die nicht nur für die tatsächliche Maximierung der Leistungsfähigkeit entscheidend sind, sondern auch für eine möglichst einfache und robuste Infrastruktur. Während die

nachträgliche Integration des komplexen und sicherheitsrelevanten ETCS dabei einen gewaltigen Kraftakt bedeutet und etwa 90% der Kosten einer Serienumrü-

1) Automatisierungsgrad 2, d.h. das ATO-Bordgerät fährt und bremst unter Sicherheitsverantwortung des Triebfahrzeugführers.

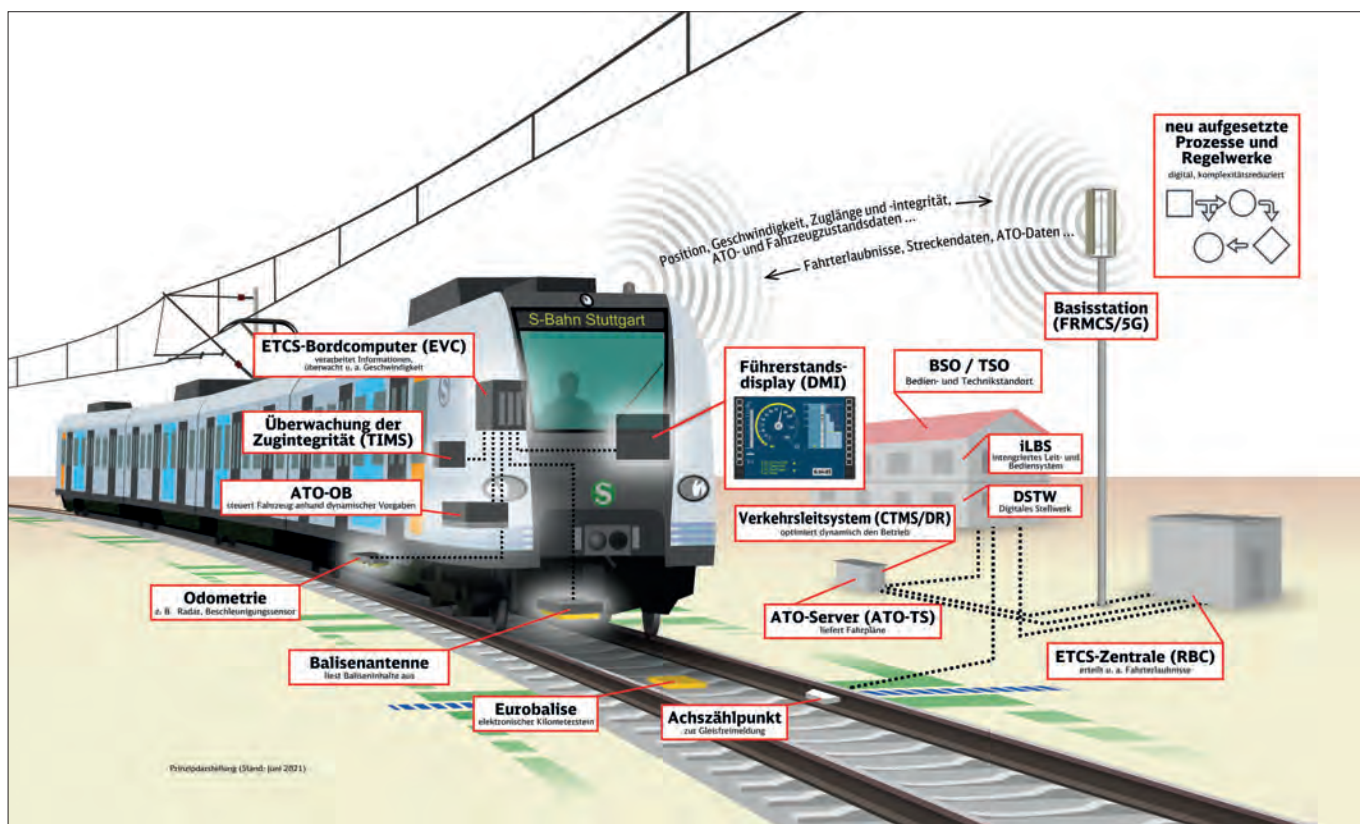


Bild 2: Vereinfachte Architektur von ETCS im Gesamtsystem am Beispiel einer S-Bahn

| | 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 | | | | PZB |
|  | FLIRT 3 | 13 | Stadler | seit 2018 | 3-teilig | SFBW Landesanstalt Schienenfahrzeuge Baden-Württemberg | Go-Ahead Baden-Württemberg | 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 Südwestdeutsche Landesverkehrs-GmbH | PZB |
| | | 26 | | | 5-teilig | | | PZB |

Tabelle 1: Überblick über die im Rahmen des DKS bis 2025 nachzurüstenden Triebzüge von DB Regio, der S-Bahn Stuttgart und vom Land Baden-Württemberg

tung ausmacht, liegt der Mehraufwand für eine ganze Bandbreite von Techniken und Funktionen wie ATO GoA 2, FRMCS, ETCS Level 3/Zugintegritätskontrolle (TIMS), aber auch (vermeintliche) Details wie Gamma-Bremskurven, CMD – Cold Movement Detection (bei ETCS optionale Funktion zur Erkennung bestimmter Fahrzeugbewegungen) oder der Unterstützung des erweiterten GSM-R-Frequenzbands bei insgesamt gerade einmal etwa 10% der Serienausrüstung [1, 2]. Die pilothafte Förderung dieser koordinierten Fahrzeugausrüstung durch den Bund folgt diesen Erkenntnissen und macht eine entsprechend weitreichende Ausrüstung zur Bedingung [9, 10]. Auf diese Grundlage setzten die durch den Bereich Beschaffung der DB entwickelten Lastenhefte auf und brachten weitere Detailoptimierungen ein, beispielsweise zu ETCS-Bremskurven, zur Diagnose oder zu schnellerer Zugdateneingabe [1].

2 Nachrüstung von vier Flotten

2.1 Überblick

Für den Kernbereich des DKS sind bis Mitte der 2020er Jahre zunächst etwa 500 Triebfahrzeuge aus- bzw. nachzurüsten. Während die Fahrzeuge des Fernverkehrs bereits weitgehend mit ETCS ausgerüstet sind und Güterverkehrszüge in dem „ohne Signale“ ausgerüsteten Kernbereich des Knotens nicht verkehren, sind

insbesondere die gesamte S-Bahn-Flotte (215 Triebzüge) sowie 118 Regionaltriebzüge nachzurüsten (Tabelle 1). Das Land Baden-Württemberg beschafft darüber hinaus zunächst 130 neue Doppelstock-Triebzüge, die „ab Werk“ ausgerüstet werden. Dazu kommen Fahrzeuge der Netz-Instandhaltung und von Dritten. Das Land hat sich nach eingehender Prüfung entschieden, kleinere und ältere Flotten, die heute im Knoten Stuttgart verkehren, ab 2025 abzulösen oder in anderen Regionen einzusetzen, um den gesamthaften Ausrüstungsaufwand zu begrenzen [1]. Aufbauend auf dieser Auswahl wurde im Januar 2020 mit der Konzeption der Vergabeverfahren begonnen. Die Landesanstalt Schienenfahrzeuge Baden-Württemberg (SFBW) hat nach einer Ausschreibung die DB Regio AG, S-Bahn Stuttgart, mit der Projektsteuerung für ihre Fahrzeuge beauftragt. Die Ausrüstungsaufträge wurden Mitte 2021, für jeweils rund 130 Mio. Euro, an die Alstom Transport Deutschland GmbH vergeben. Dies schließt das Engineering und die Ausrüstung für bis zu 14 Prototyp-Fahrzeuge sowie die Serienausrüstung sämtlicher Regionaltriebzüge mit ein. Die Serienausrüstung der S-Bahn-Triebzüge erfolgt hingegen durch die DB Fahrzeuginstandhaltung mit Unterstützung des Lieferanten. Die Nachrüstung wird durch den Bund und die Europäische Union gefördert [1, 2]. Die Ausrüstung gliedert sich in zwei Stufen: Bis zum Start des Hochleistungsbe-

triebs 2025 erhalten die Triebzüge in einer ersten Stufe insbesondere ETCS und ATO. Dazu werden bis zu 48 Triebzüge parallel dem Betrieb entzogen, an voraussichtlich fünf Standorten umgerüstet (Bild 3) und wieder zugelassen. Von 2025 bis 2027 folgt im Rahmen einer zweiten Stufe ein Update auf die nächste ETCS-Spezifikation (im Rahmen der TSI ZZS 2022) und die Inbetriebsetzung von FRMCS. Die für die zweite Stufe notwendige Hardware wird dabei bereits weitestmöglich in der ersten Stufe eingebaut, um die Umrüstzeit in der zweiten Stufe auf wenige Tage vor Ort zu begrenzen [1, 2]. Mit Blick auf die funktional fortschreitende Ausrüstung der Infrastruktur stellt die vorausschauende Fahrzeugausrüstung „aus einem Guss“ eine möglichst effiziente Durchführung des Nachrüstungsprojekts sicher (Vehicle-first-Strategie [11]).

2.2 EVC3 – Alstoms Plattform für zukünftige ETCS-Fahrzeugausrüstungen

Im Projekt DKS setzt Alstom seine neue EVC3-Plattform ein. Das neue Produkt (Bild 4) zeichnet sich u.a. durch eine robuste Architektur (2-von-3-Architektur), einen um 60% reduzierten Raumbedarf und einen modularen Aufbau aus. Die Anforderungen des Pilotprojekts DKS und des darauf aufbauenden DSD-Serienrollouts (DSD – Digitale Schiene Deutschland) fließen darin ein. Der EVC3 geht

damit weit über eine bloße ETCS-Funktionalität hinaus und beinhaltet beispielsweise die Möglichkeit, auch ATO GoA 2 und TMS zu realisieren. Dazu kommen weitere Verbesserungen und Optimierungen, wie beispielsweise eine verbesserte Diagnose und Wartung. Die grundlegend in Stufe 1 verwendete Software (nach SRS 3.6.0) beinhaltet auch eine Reihe von der ERA (Europäische Eisenbahngentur) empfohlene Änderungen ²⁾.

2.3 Herausforderung Retrofit

Die Nachrüstung von Bestandsfahrzeugen mit ETCS (Retrofit) hat viele Facetten und geht weit über den Einbau der Technik hinaus.

Rein technisch gilt es zunächst, dutzende von großen und kleinen Komponenten neu einzubauen, zu integrieren, aufeinander abzustimmen, zu testen und gesamthaft in Betrieb zu setzen. Im Projekt zählen dazu (Bild 5) unter anderem:

- Im Fahrzeuginneren: Schaltschrank mit dem ETCS-Fahrzeuggerät EVC (Bild 6) mit zwölf Modulen (u.a. Rechnerkern und Stromversorgung, Eingang/Ausgang mit Filtern, Funk, Odometrie), Fahrzeug- und Datenaufzeichnungsgerät (JRU), Lüfter, Leistungsschutzschalter und Relais sowie ein Gateway und zwei Modems für FRMCS;



Bild 3: Voraussichtliche Standorte für die Umrüstung durch Alstom und die DB Fahrzeuginstandhaltung

2) Nach ERA/OPI/2017-2 und ERA/OPI/2020-2.

| | 2000 | 2004 | 2009 | 2014 | 2019 | 2022 |
|--|-----------------------------|--|--------------------------------|---|--|---|
| | EVC 0 | EVC 1 | EVC 1+ | EVC 2 | EVC 2+ | EVC 3 |
| CPU-Leistung | Referenz | 7-fach vs. EVC 0 | 10-fach vs. EVC 1 | identisch EVC 1+ | identisch EVC 2 | 20-fach vs. EVC 2+ |
| Integration | PS, BTM, ODO, CPU, I/O, PB | + MVB + TBL1+ | + LTM | + Ethernet, TRU (mit ext. CPM), acc | + ATC-2 | + Cyber, Radio, CMD, Instandhaltung |
| Funkstandards | GSM-R (ext) | GSM-R (ext) | GSM-R (ext) | GSM-R / GPRS (ext) | GSM-R / GPRS (ext) | Integriertes Modem: GSM-R / GPRS / LTE / IP |
| Anwendungen | Klasse P | Baseline 2.2.2, 2.2.2+, 2.3.0D / TBL1+ | Baseline 2.2.2, 2.2.2+, 2.3.0D | Baseline 3.4.0, 3.6.0 | Baseline 3.6.0 + ATC-2 | Baseline 3.6.0 + bis zu 4 ATPs & ATO |
| Instandhaltung & Aufrüstung | | - Aufrüstbar auf BSL 3R2 | - Aufrüstbar auf BSL 3R2 | Integrierter Recorder (TRU) | Integrierte TRU | Integrierte TRU & Funkmodule, Ferndiagnose |
| Cybersecurity | | | | Auf Fahrzeug-Netzwerk-Ebene | Auf Fahrzeug-Netzwerk-Ebene | Alle Karten/Funktionen |
| Odometrie | SDMU Radsensor (WS) + Radar | SDMU WS + Radar + Beschl.Sensor (acc.) | SDMU WS + Radar + acc. | GEOS WS + Radar + optischer Sensor + acc. | GEOS WS + Radar + optischer Sensor + acc. + GNSS/IMU | GEOS WS + Radar + optischer Sensor + acc + GNSS/IMU |

Bild 4: Übersicht der Entwicklung von Alstoms EVC-Plattform

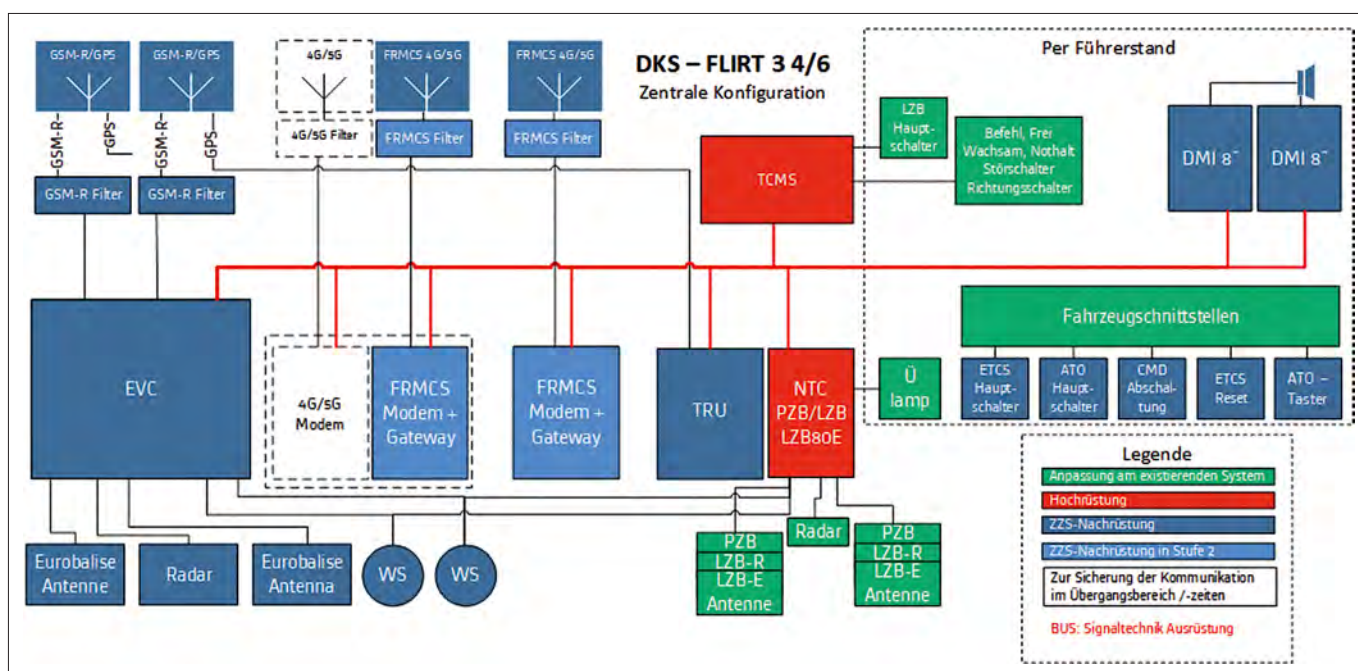


Bild 5: Vereinfachte Darstellung der Stufe-2-Architektur am Beispiel der Fahrzeugausrüstung des FLIRT 3

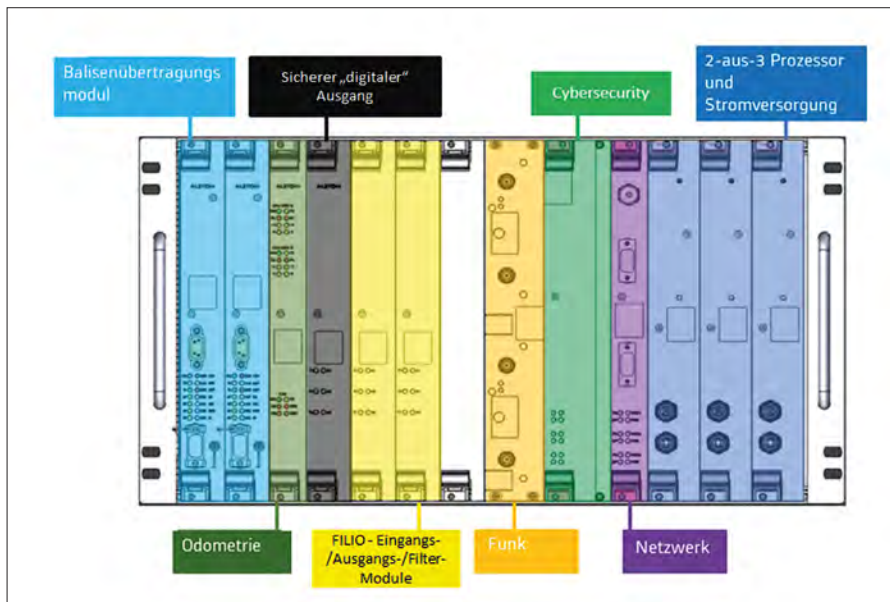


Bild 6: EVC3 mit integrierten Modulen

- Je Führerraum: zwei Acht-Zoll-Displays (DMI), Lautsprecher, ATO-Taster, zwei Reset-Taster (für ETCS und CMD), zwei Störschalter (für ETCS und ATO), Schalter zur Auswahl der Haftungsreduktion im ATO-Betrieb;
- Auf dem Dach: fünf (hinsichtlich der Entkopplung aufeinander abzustimmende) Antennen, zwei für GSM-R (einschließlich GPS als Zeitreferenz), zwei Antennen für FRMCS sowie eine für öffentlichen 4G/5G-Funk (für ATO und Instandhaltungszwecke) und
- Unterflur: zwei Eurobalisen-Antennen, zwei Wegimpulsgeber und ein Radar.

Die Triebzüge bestehen aus drei bis sechs Wagen und erhalten einen EVC, der mit beiden Führerräumen verbunden ist. Insgesamt werden etwa 6 bis 7 km neue Ka-

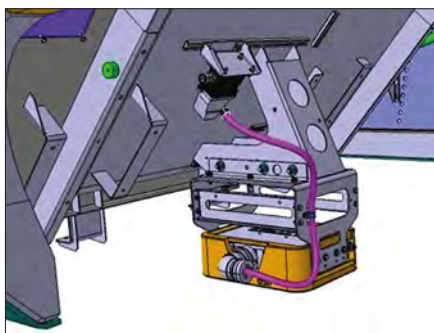


Bild 7: Komplexe Befestigung der Eurobalisen-Antenne am Talent-Fahrzeug an vorgerüsteter Befestigung

bel, etwa 220 kg zusätzliches Gewicht eingebracht und der Leistungsbedarf wird um etwa 600 W erhöht. Die Komponenten der Bestandssysteme PZB/LZB (Punktförmige/Linienförmige Zugbeeinflussung) werden größtenteils weiterverwendet.

Drei der vier Fahrzeugserien im Projekt sind relativ neu und verfügen über eine moderne und leistungsfähige Leittechnik (TCMS – Train Control and Monitoring System). Auf dieser Grundlage werden der bestehende Fahrzeugbus und die verwendeten Telegramme angepasst, um zusätzliche Daten der Komponenten von ETCS und weiteren Systemen aufzunehmen. Die ETCS-Vorrüstung aller drei Baureihen erwies sich im Übrigen als wenig zielführend, da insbesondere die vorgesehenen Schnittstellen zwischen der Leittechnik und dem Fahrzeug nicht dem zukünftig gültigen ETCS/ATO-Standard von SUBSET 119/139 entsprechen. Lediglich der vorgesehene Einbauraum kann voraussichtlich größtenteils wiederverwendet werden; *Bild 7* zeigt dazu ein Beispiel.

Bei den vier Baureihen des Projekts stellen die Triebfahrzeuge der Baureihe 423 einen Sonderfall dar, da sie konstruktiv mehr als 25 Jahre alt sind. Die Integration von ETCS und ATO in das TCMS erfordert hier einen größeren Aufwand, da das existierende TCMS dieser Triebzüge nur noch in begrenztem Umfang weitere Informationen aufnehmen kann. So wird ein zusätzliches Bussystem realisiert, um Funktionen des Fahrgastinformationssys-

tems (FIS) vom vorhandenen TCMS zu trennen. Auch Vorbereitungen für eine spätere ETCS-Ausrüstung wurden, wie bei Fahrzeugen aus dieser Zeit üblich, nicht getroffen. Für die ETCS/ATO-Integration wird eine zusätzliche Schnittstelle geschaffen. Diese Schnittstelle erlaubt es, die notwendigen Informationen mit dem Fahrzeug auszutauschen ohne zu sehr die Leittechnik anzupassen. Diese Lösung kann zukünftig auch für andere ältere Fahrzeuge ohne digitale oder mit veralteter Leittechnik Anwendung für die ETCS-Nachrüstung finden.

Doch nicht nur die Technik, sondern auch die organisatorischen, rechtlichen und vertraglichen Rahmenbedingungen eines solchen Retrofit-Projekts sind eine Herausforderung. So sind beispielsweise Ersatzfahrzeuge, Schulungen, Besichtigungen und Überführungsfahrten ebenso zu organisieren wie zahlreiche Unterlagen, Gutachter- und Zulassungsleistungen. Unter den vielen Beteiligten – darunter Fahrzeughersteller, Betreiber, Fahrzeughalter, Behörden und Gutachter etc. – sind zahlreiche Vereinbarungen und Absprachen notwendig. Nicht zuletzt sind auch laufende Verkehrsverträge umfassend anzupassen [1].

Eine gewisse Vereinfachung ist immerhin, wenn der ursprüngliche Fahrzeughersteller auch der -ausrüster ist, wie dies im Projekt bei drei der vier Fahrzeugserien der Fall ist. Für die von Stadler gefertigten FLIRT-Triebzüge war, um das geistige Eigentum des Fahrzeugherstellers zu schützen, eine gesonderte Vereinbarung erforderlich. So übernimmt Stadler im Projekt neben TCMS-Anpassungen u. a. auch Aufgaben aus dem Design (Massen- und Energiemanagement) sowie die Validierung und Anpassung der Leittechnik und die Verantwortung für die erneute Fahrzeugzulassung. Zwischen dem Fahrzeugbus der Stadler FLIRT-Triebzüge und dem Alstom-EVC3 wird dabei ein bereits für die Anbindung der LZB-80E-Ausrüstung genutztes Gateway erweitert.

In Anbetracht dieses enormen Aufwands, der bereits für die bloße, nachträgliche Integration von ETCS erforderlich ist, sind weitere, darauf aufbauende Ergänzungen und Optimierungen vergleichsweise einfach, wenn sie frühzeitig mitberücksichtigt werden. Sie machen lediglich etwa 10% der Kosten der Serienausrüstung aus [1].

2.4 Odometrie

Für die präzise und sichere Weg- und Geschwindigkeitsmessung (Odometrie), die der höchsten Stufe 4 der Sicherheitsintegrität entspricht, wird jeder Triebzug mindestens mit einem 3D-Beschleunigungssensor (im EVC-Schrank), einem Doppellradar und zwei Wegimpulsgebern ausgerüstet (Bild 8).

Die Odometrie lokalisiert das Fahrzeug an einer geeigneten Balisengruppe (LRBG) auf unter einen Meter genau, zuzüglich 1 % des seither zurückgelegten Weges. Sie ist damit weit besser als die Mindestanforderung der ETCS-Spezifikation³⁾. Jeder einzelne Sensor liefert zu rund 99 % der Zeit zuverlässige Werte. Vorübergehend unzuverlässige Sensoren – beispielsweise Wegimpulsgeber beim Gleiten/Schleudern, Schnee beim Radar oder defekte Sensoren – werden erkannt und vorübergehend nicht herangezogen. Da bei den spurtstarken Regionaltriebzügen alle Radsätze gebremst werden und somit anfällig für Gleiten sind, werden diese, soweit im Ergebnis von Fahrversuchen mit den First-in-Class-Fahrzeugen nötig, auch einen neuartigen SINGS-Sensor (Satellite INertial GNSS Sensor) [12] erhalten. Dieser enthält die Kombination von drei Beschleunigungssensoren, drei Gyroskopen und (soweit verfügbar) Satellitennavigation (GNSS).

In Verbindung mit einer Lokalisierung von Balisen auf wenige Zentimeter genau, wird die Grundlage für den auf +/- 50 cm genauen ATO-Präzisionshalt gelegt. Die Odometrie ist ferner Bestandteil der CMD für schnelles Aufstarten.

2.5 ATO GoA 2

Im DKS wird ATO mit dem Automatisierungsgrad 2 (ATO GoA 2) umgesetzt. Dabei ist der Triebfahrzeugführer im Führerraum, während das ATO-Bordgerät (ATO-OB) den Zug anhand von Vorgaben der ATO-Streckenzentrale (ATO-TS) präzise steuert und zum Halt bringt (Bild 9). ATO bewegt sich dabei stets im sicheren Rahmen von ETCS und ist entsprechend als vergleichsweise einfaches und nicht sicherheitsrelevantes System spezifiziert.

Im Gegensatz zur landläufig bekannten Automatischen Fahr- und Bremssteuerung (AFB) fährt das ATO-OB dabei nicht einfach Sollbremskurven ab, sondern steuert den Zug anhand dynamischer Vorga-

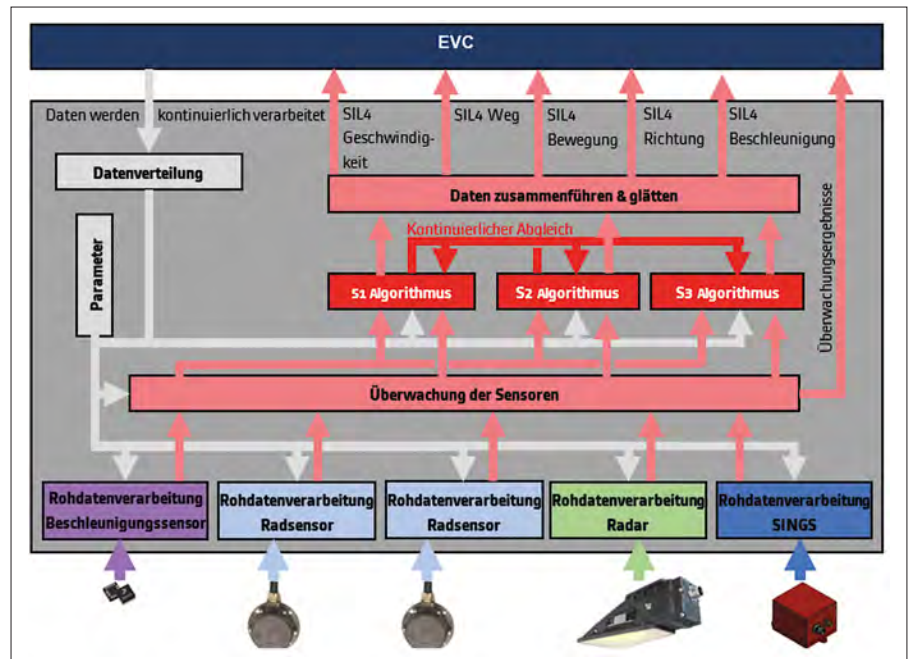


Bild 8: Funktionsweise der Odometrie

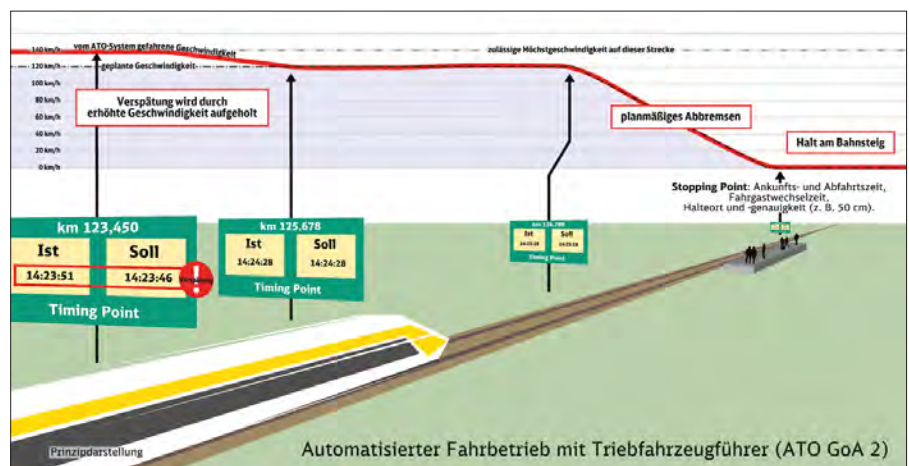


Bild 9: Selbständig fahrende Züge mit Triebfahrzeugführer im ATO-GoA-2-Betrieb mit laufendem Austausch zwischen Zug und Infrastruktur

ben präzise, energieeffizient und – wenn nötig – mit kürzest möglicher Fahrzeit (Bild 9). Das ATO-OB meldet der ATO-TS dabei u. a. auch geschätzte Ankunftszeiten und weitere zur Optimierung notwendige Daten zurück. Der Nutzen geht weit über eingesparte Traktionsenergie und eine bessere Betriebsqualität hinaus. ATO ist vielmehr auch eine wesentliche Voraussetzung für vorausschauendes Fahren, um insbesondere in hochbelasteten Mischverkehrs- und Knotenbereichen tatsächlich die Kapazität zu steigern (Bild 10) [2]. In Stufe 1 setzt Alstom die ATO zunächst mit der aktuellen ETCS-Spezifikation und in Anlehnung an den maßgebenden CR 1238 (CR – Change Request – Änderungsanforderung) um. In der Stufe 2 folgt die vollumfängliche Umsetzung, gemäß der

nächsten ETCS-Spezifikation, mit neuer Betriebsart „Automated Driving“ (AD). Die Kommunikation mit der ATO-TS erfordert paketvermittelte Kommunikation und erfolgt daher nicht per GSM-R (2G), sondern zunächst über öffentlichen Mobilfunk (4G/5G), später über das bahneigene, 5G-basierte FRMCS. Eine externe ATO-Lösung (gemäß SUBSET-143) kann später ergänzt werden.

2.6 Maximierung der Leistungsfähigkeit

Um die verkehrlich-betriebliche Leistungsfähigkeit zu maximieren, werden

³⁾ 5 m +/- 5 % des zurückgelegten Weges (gemäß ETCS-Spezifikation, SUBSET-041, Version 3.2.0, Abschnitt 5.3.1.1).

Dazu kommen viele technische Feinheiten. So steht dank CMD beim Aufstarten nahezu immer eine gültige Position zur Verfügung, auf deren Grundlage die ETCS-Zentrale (RBC) in der Regel eine uneingeschränkte Fahrerlaubnis in Vollüberwachung (FS) erteilen kann. Durch Online Key Management [18] werden die zur Fahrzeug-Strecke-Kommunikation verwendeten Schlüssel automatisiert übertragen und gelegentlich beim manuellen Einspielen auftretende Fehler vermieden. Nicht zuletzt können außerhalb von ETCS-oS-Bereichen PZB und LZB bei gravierenden Störungen auch unabhängig von ETCS betrieben werden.

Diese technische Lösung ist Teil wiederum eines ungleich umfassenderen Gesamtkonzepts für eine kontinuierliche Verbesserung der Verfügbarkeit, mit der nicht zuletzt Kinderkrankheiten beseitigt und gelegentlich auftretenden Störungen möglichst zügig und zielgerichtet erkannt, untersucht und behandelt werden sollen. Dazu gehören beispielsweise auch präzise und aussagekräftige Diagnosemeldungen, deren Übermittlung an einen Server eine Flottenübersicht in Echtzeit ermöglicht, sowie ein Werkzeug (HealthHub Signalling™) zur Fehleranalyse und vorausschauenden Wartung (Bild 11).

Zwischen der Zulassung der ersten First-in-Class-Fahrzeuge (Ende 2023) und dem Beginn des ETCS-oS-Hochleistungsbetriebs (2. Hälfte 2025) ist ein intensiver Versuchs- und Vorlaufbetrieb ebenso geplant wie ein kommerzieller Betrieb unter geringeren Leistungsanforderungen in ersten Abschnitten. Letztlich soll jeder der 333 Triebzüge erprobt und jeder der über tausend Mitarbeitenden Erfahrungen sammeln, sollen Schwächen frühzeitig erkannt und beseitigt sowie Handlungssicherheit gewonnen werden. Im Übrigen wird weitere, zur Inbetriebnahme der Infrastruktur nicht zwingend notwendige Technik (wie ATO) ganz bewusst erst kommerziell in Betrieb gesetzt, wenn der Hochleistungsbetrieb mit ETCS robust läuft.

Dies sind nur einige Facetten eines ungleich breiteren Spektrums, zu dem beispielsweise Werkstattprozesse und Schulungen ebenso gehören wie Hotlines für Triebfahrzeugführer, auskömmliche Ersatzteilbevorratung oder die frühzeitige Erkennung schleichender Fehler in der Infrastruktur mit Hilfe von Fahrzeugdaten.



InnoTrans 2022

20.–23. SEPTEMBER · BERLIN

Internationale Fachmesse für Verkehrstechnik

THE FUTURE OF MOBILITY

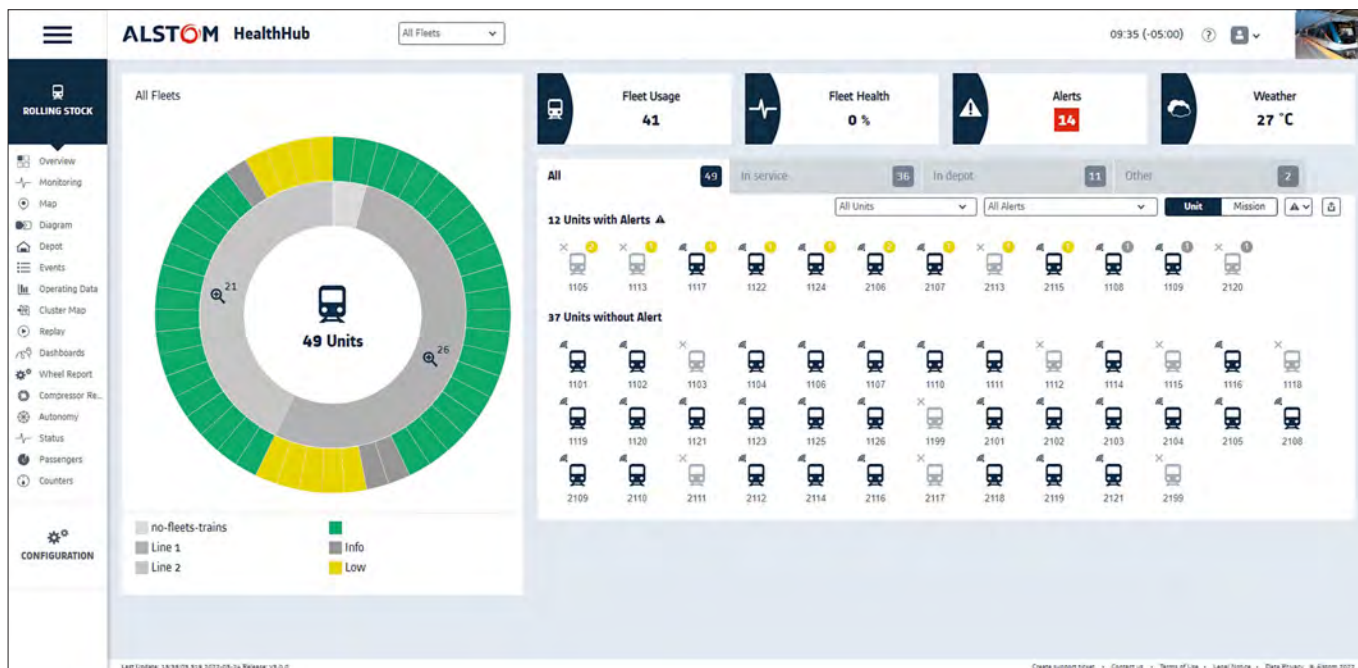
KONTAKT

Messe Berlin GmbH
Messedamm 22 · 14055 Berlin
T +49 30 3038 2376
innotrans@messe-berlin.de



Messe Berlin

200 Jahre Gastgeber von Welt



■ Bild 11: Die Flottenübersicht als Teil von HealthHub SignallingTM, das von Alstom im Rahmen des DKS-Projekts bereitgestellt wird

2.8 Innovationskooperation

Vier Themen, die während der Konzeptions- und Ausschreibungsphase noch nicht vollumfassend spezifiziert werden konnten, wurden und werden von den Auftraggebern und dem Auftragnehmer gemeinsam ausspezifiziert: diese beinhalten TIMS, FRMCS, die Bereitstellung von Fahrzeugzustandsdaten für CTMS sowie über die ETCS-Spezifikation hinausgehende standardisierte Schnittstellen (OCORA – Europäische Initiative zur ETCS/ATO-Fahrzeugausrüstung der Zukunft). Die gesamte dafür notwendige Hardware soll bereits in der Stufe 1 eingebaut werden, gleichwohl TIMS und FRMCS erst in der Stufe 2 in Betrieb genommen werden.

Die für ETCS Level 3 notwendige Zugintegritätsüberwachung (TIMS) erfolgt im EVC, ohne eigenständiges Gerät. Damit werden Platzbedarf, Reaktionszeiten und Instandhaltungsaufwand minimiert und gleichzeitig Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit erhöht. Aufbauend auf der von Alstom für den Hochleistungsbetrieb in Italien entwickelten Lösung [19] wird die Vollständigkeit eines Triebzugs auf SIL-2-Niveau (gemäß CR 940 der ETCS-Spezifikation) sichergestellt.

Beim Betrieb in Mehrfachtraktion stellen zusätzlich die EVCs über ein sicheres, über den Zugbus geführtes Kommunikationsprotokoll sowie eine neue zusätzliche (hartverdrahtete) Schnittstel-

le die Integrität des gesamten Verbands sicher. Dazu sind kleine Hardwareanpassungen (insbesondere an Kupplungen) erforderlich, die in Stufe 1 mit umgesetzt werden, um TIMS im Rahmen der Stufe 2 in Betrieb zu nehmen. Die größte Herausforderung liegt hingegen in der geforderten SIL-4-sicheren Ermittlung der Zuglänge, für die – ohne Mitwirkung des Triebfahrzeugführers – Informationen aus dem Fahrzeugbus und aus weiteren EVC im Zugverband kombiniert werden.

Im Rahmen der Innovationskooperation wurden ein Lasten- und ein Pflichtenheft für FRMCS entwickelt. Die Architektur des EVC3 ist bereits im Hinblick auf die nächste ETCS-Spezifikation aufwärtskompatibel gestaltet, indem die absehbare Trennung applikations- und sicherheitsrelevanter Anteile des Euroradio-Protokolls bereits erfolgt ist. Für FRMCS werden in Stufe 1 u. a. bereits passende Antennen eingebaut sowie der Bauraum für eventuell benötigte weitere Geräte vorbereitet, um den Betrieb während der Migrationsphase zu FRMCS nahtlos sicherzustellen. So ermöglicht das System während der Migration alle möglichen Szenarien abzudecken. FRMCS ist wesentlicher Teil der Funk-Funktionalität für ETCS und ATO, die neben GSM-R (mit GPRS – General Packet Radio Service) auch die Nutzung öffentlicher 4G/5G-Netze beinhaltet.

Im Rahmen der Innovationskooperation ebenfalls bereits spezifiziert wurden von den Fahrzeugen an die Infrastruktur zur gesamthaften Optimierung zu übermittelnde Daten. Dazu zählen beispielsweise der Zustand von Traktion und Bremsen, die Belegungsgrade einzelner Wagen oder der Status einzelner Stromabnehmer. Diese Informationen können von CTMS und weiteren Systemen für vielfältige Optimierungen genutzt werden, beispielsweise um Fahrgastströme zu lenken oder Restriktionen in der Blockteilung an elektrischen Schaltabschnittsgrenzen aufzulösen [13].

Im Rahmen der OCORA-Initiative soll insbesondere die Schnittstelle zwischen der ETCS- und ATO-Fahrzeugausrüstung und dem Fahrzeug standardisiert werden [11]. Im DKS-Retrofit-Projekt werden, den Projektstufen folgend, die Schnittstellen TSI-konform (Subset 119/139) umgesetzt. Dabei werden die in den ERTMS-Subsets vorgesehenen Signale um weitere Signale, die sich aus den Anforderungen des DKS ergeben, erweitert und zusammen mit einer entsprechenden Testspezifikation der OCORA-Initiative zur weiteren Verwendung bereitgestellt.

Alle vier Themen werden innerhalb des Rahmens der europäischen Standardisierung bearbeitet und sollen als Blaupause für weitere Projekte dienen. Die Ergebnisse werden dem Fördermittelgeber offengelegt.

3 Ausblick

Ein Dreivierteljahr nach Auftragsvergabe wurde durch DB Regio am 21. März 2022 der erste S-Bahn-Triebzug nach Hennigsdorf überführt, am 5. April folgte ein erster „Talent“-Regionaltriebzug der SFBW. Der Umbau ist im Gang (Bild 12). Sie zählen zu den ersten Triebfahrzeugen, die im neuen First-in-Class-Center in Hennigsdorf bei Berlin ausgerüstet werden, in dem Alstom alle für einen derartigen Retrofit notwendigen Aktivitäten in Deutschland bündelt – vom Engineering bis zur Zulassung.

Die Umrüstung von drei der vier Baureihen liegt im Plan, das Projekt insgesamt auf Kurs. Bis Ende 2023 werden die meisten First-in-Class-Umrüstungen mit der Wiederzulassung der Triebzüge abgeschlossen werden, 2024 folgt die Serienausrüstung. In den Jahren 2025 bis 2027 folgt die Hochrüstung auf die Stufe 2. In kurzer Standzeit wird die Software entsprechend der nächsten ETCS-Spezifikation eingespielt und auf dieser Grundlage auch die Zugintegritätsüberwachung (für ETCS Level 3) und FRMCS in Betrieb genommen. Damit einhergehend werden Leistungsfähigkeit und Verfügbarkeit im Gesamtsystem weiter optimiert und weitere Erfahrungen für Folgeprojekte gesammelt.

Die Erfahrungen im Pilotprojekt DKS zeigen dabei bislang, dass eine eng koordinierte, vorausschauende Ausrüstung ganzer Flotten des Personenverkehrs binnen weniger Jahre grundsätzlich gelingen kann. Der materielle und organisatorische Aufwand ist gleichwohl immens. Um mehr als 13.000 Triebfahrzeuge aus rund 350 Baureihen, einschließlich Dampflokomotiven und Kleinserien von hunderten Betreibern binnen eines Jahrzehnts nachzurüsten, ist nicht weniger als ein beispielloser Kraftakt von Nöten. Eine gute, sachorientierte Zusammenarbeit aller Beteiligten ist dafür elementar. Angesichts eines ungefähr verdoppelten Aufwands, den eine Nachrüstung verursacht – aber auch schlicht aufgrund der endlichen Umrüstkapazitäten und Personalressourcen – ist es im Übrigen dringend geboten, neue Fahrzeuge bereits ab Werk für das betrieblich-technische Zielbild mit ETCS und weiteren Techniken auszurüsten.

Eine angemessene und an wohlüberlegte Bedingungen geknüpfte Förderung ist für

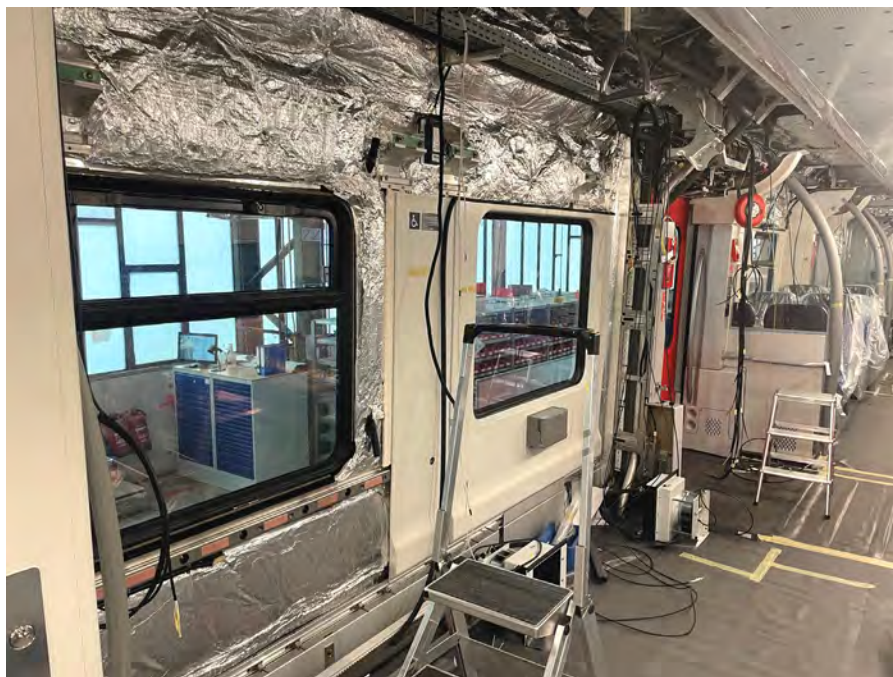


Bild 12: S-Bahn-Triebzug mit zur Verlegung von Kabeln ausgebaute Wagenverkleidung

Aus- und Nachrüstung gleichermaßen die wesentliche Grundvoraussetzung: Nicht nur, um einen Ausgleich zwischen der schlankeren Infrastruktur und der deutlich aufwendigeren Fahrzeugausrüstung zu schaffen. Sie ist auch nötig, um über eine offenzulegende Fördermitteldokumentation Synergien zwischen gleichen und sehr ähnlichen Fahrzeugen im Bundesgebiet zu schaffen, um nicht ständig das Rad neu erfinden zu müssen und auch voneinander zu lernen; und natürlich braucht es für all das eine kluge und effiziente Organisation.

Die Digitalisierung der Eisenbahn in Deutschland ist bei alledem kein Selbstzweck. Auf der S-Bahn-Stammstrecke, die vor wenigen Jahren zum Zündfunken für den heutigen DKS wurde, zeigt sich exemplarisch, wie viel mehr Leistungsfähigkeit durchaus von ETCS und Co. erwartet werden kann. Die 2018 vorgelegte Studie hat noch eine Verkürzung der Mindestzugfolgezeiten (gegenüber konventioneller Technik) von rund 20% ausgewiesen, dagegen führen die bereits gesicherten Optimierungen zu einer Verkürzung von inzwischen insgesamt mehr als 35%, mit Zugfolgezeiten von weniger als 100 s pro Richtung und weiter fallender Tendenz⁴⁾. Zahlreiche weitere Potenziale verbleiben (Bild 13). Ähnliche Leistungssteigerungen werden auch im Regionalverkehr erwartet.

(Bildnachweis: 1 bis 3, 9, 10 u. 13, DB; 4 bis 8, 11 u. 12, Alstom)

Literatur

- [1] Dietrich, F.; Meyer, M.; Neuhäuser, R.; Rohr, F.; Vogel, T.; Wenkel, N.: Fahrzeugnachrüstung für den Digitalen Knoten Stuttgart. Der Eisenbahningenieur 72 (2021) 9, S. 39–45 (<https://bit.ly/3tFQWUB>).
- [2] Bitzer, F.; Blateau, V.; Lammerskitten, C.; Lück, B.; Neuhäuser, N.; Vogel, T.; Wurmtaler, J.: Quo vadis Digitale Leit- und Sicherungstechnik? Der Eisenbahningenieur 72 (2021) 11, S. 6–11 (<https://bit.ly/3Hv72X6>).
- [3] Fries, N.: Betrieblich-Technisches Zielbild für die „Digitale Schiene“. Deine Bahn 49 (2021) 3, S. 6–10 (<https://bit.ly/3HCOfls>).
- [4] Behrens, M.; Eckardt, E.; Kümmling, M.; Loef, M.; Otrzonek, P.; Schleede, M.; von Schaper, M.-L.; Wanstrath, S.: Auf dem Weg zum Digitalen Knoten Stuttgart: ein Überblick. Der Eisenbahningenieur 71 (2020) 4, S. 14–18 (<https://bit.ly/3pyuXfg>).
- [5] Bojic, M.; El-Hajj-Sleiman, H.; Flieger, M.; Lies, R.; Osburg, J.; Retzmann, M.; Vogel, T.: ETCS in großen Bahnhöfen am Beispiel des Stuttgarter Hauptbahnhofs. Signal+Draht 113 (2021) 4, S. 21–29 (<https://bit.ly/3fiozOJ>).
- [6] Drescher, O.: ETCS Level 2 ohne „Signale“ in einem großen Knoten. Deine Bahn 50 (2022) 3, S. 28–32.
- [7] Becker, M.; Büker, Th.: Digitalisierung im Gesamtsystem denken. ZEVrail 144 (2020) 10, S. 379–385.
- [8] Ingenieurgemeinschaft Machbarkeitsstudie ETCS S-Bahn Stuttgart: Untersuchung zur Einführung von ETCS im Kernnetz der

4) Ausgehend von 120/107 s mittlerer Mindestzugfolgezeit (je Richtung, mit rund 210 m langen Langzügen) wurden weitere Potenziale aus der S-Bahn-ETCS-Untersuchung gehoben: 9 s durch verkürzte Infrastrukturlaufzeiten, jeweils wenige Sekunden durch weiter optimierte Blockteilung und optimierte ETCS-Bremskurven, rund 3 s durch präzise Ortung (rund 5 m statt 55 m modellierter Ortungsfehler nach vorne) sowie rund 1 s durch verkürzte Systemlaufzeit auf dem Fahrzeug.

#613_A3

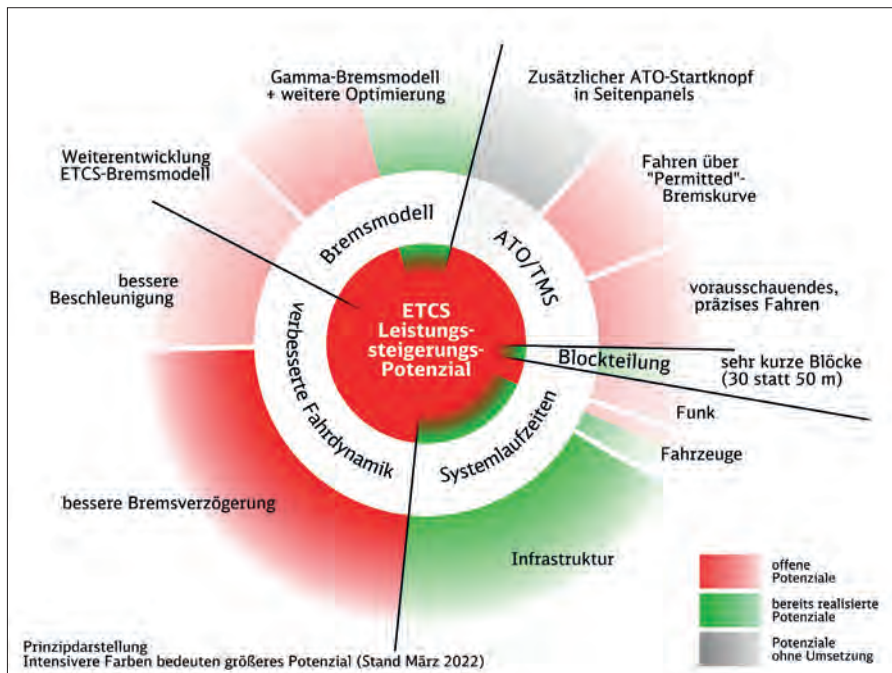


Bild 13: Offene und bereits realisierte Potenziale der Leistungssteigerung bei der S-Bahn

S-Bahn Stuttgart. Abschlussbericht, 30. Januar 2019 (<https://bit.ly/2Yyaw6h>).

- [9] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: 200 Millionen Euro für digitale Sicherungstechnik in Zügen. Presseinformation, 15. Januar 2021 (<https://bit.ly/3e9eniy>).
- [10] 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 Bahnverkehrs (ATO) im Rahmen der infrastruktursei-

tigen Einführung von ERTMS im „Digitalen Knoten Stuttgart“. Bundesanzeiger, BAnz AT 05.02.2021 B2 (<https://bit.ly/3hX5CJx>).

- [11] Mühlemann, R.: OCORA – Die europäische Initiative zur ETCS-Fahrzeugausrüstung der Zukunft. Signal+Draht 112 (2020) 9, S. 25–30.
- [12] Kjenne, S.; Jorde, L.: Onboard testing drives ETCS rollout. Railway Gazette International 177 (2021) 2, S. 22–25.
- [13] Denßen, J.; Flieger, M.; Kümmling, M.; Küpper, M.; Wanstrath, S.: Optimierung der Blockteilung mit ETCS Level 2 im Digitalen Knoten Stuttgart. Signal+Draht, 113 (2021), 7+8, S. 60–67 (<https://bit.ly/3Ai0gQR>).

- [14] 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, 72 (2021) 6, S. 50–55 (<https://bit.ly/2SIQvjY>).
- [15] Kümmling, M.; Wanstrath, S.: Maximierung der Fahrwegkapazität mit Digitaler Leit- und Sicherungstechnik. Eisenbahntechnische Rundschau, 70 (2021) 7+8 (<https://bit.ly/2SIQvjY>).
- [16] ETCS-Spezifikation, SUBSET-041, Version 3.2.0, Abschnitt 5.2.1.3.
- [17] DB Netz AG: Nationale Technische Regeln, https://fahrweg.dbnetze.com/fahrwegde/kunden/nutzungsbedingungen/etcs/fahrzeuganforderungen/etcs_ntr-1369672. Abgerufen am 22.03.2022.
- [18] Seither, S.: Online Key Management über ETCS. Signal+Draht 108 (2016) 9, S. 51–57.
- [19] Baglivo, S.; Blateau, V.; Senesi, F.: Innovative ETCS-Funktionen für stark beanspruchte Bahnknoten. Der Eisenbahningenieur, 71 (2020) 6, S. 50–54.



Dipl.-Ing. Frank Dietrich (57). Studium Maschinenbau/Energietechnik an der Hochschule Esslingen bis 1990. Anschließend bis 1992 Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur. 1993 bis 1994 Deutsche Bundesbahn, BZA München. 1994 bis 2019 Deutsche Bahn AG bzw. DB Regio AG. Seit 2019 DB Regio, S-Bahn-Stuttgart, Programmleiter Fahrzeugumrüstung ETCS/ATO. Anschrift: DB Regio AG, S-Bahn Stuttgart, Eisenbahnstraße 42, 73207 Plochingen, Deutschland. E-Mail: frank.f.dietrich@deutschebahn.com

ZEVrail Digital





M. Sc. Jan Erdmann (34) Studium des Wirtschaftsingenieurwesens mit Studienrichtung Maschinenbau an der Technischen Universität Berlin bis 2014. Seit 2015 bei der Alstom Transport Deutschland GmbH, zunächst als Zulassungsingenieur für ETCS-Fahrzeuggeräte u.a. für die ETCS-Nachrüstung der Baureihen 401 und 403, ab 2019 als technischer Angebotsleiter für das Angebot zur ETCS-Nachrüstung der Fahrzeuge des Digitalen Knoten Stuttgart.

Anschrift: Alstom Transport Deutschland GmbH, Joachimsthaler Straße 12, 10719 Berlin, Deutschland.

E-Mail: jan.erdmann@alstomgroup.com



Dipl.-Ing. Matthias Jost (42). Studium Wirtschaftsingenieurwesen, Richtung Elektrotechnik, an der Universität Berlin bis 2005. Anschließend bis 2015 Projektleiter bei der Stadler Pankow GmbH. 2015 bis 2021 Projektleiter für Schienenfahrzeugprojekte bei der Netinera Deutschland GmbH. Seit 2021 bei Alstom (D&IS, innerhalb DACH-Region) im Bereich Engineering, verantwortlich als Projekt Engineering Manager für die ETCS-Projekte inkl. ATO und Innovationsthemen.

Anschrift: Alstom Transport Deutschland GmbH, Joachimsthaler Straße 12, 10719 Berlin, Deutschland.

E-Mail: matthias.jost@alstomgroup.com



Fabian Raichle, M. Sc. (30). Studium des Mechanical Engineering an der University of South Wales (Abschluss M. Sc) sowie im Bereich Wirtschaftsingenieurwesen mit der Vertiefung Digital Production Management an der Hochschule Albstadt-Sigmaringen (Abschluss M. Sc.). 2020 bis 2021 bei der DB Regio, S-Bahn-Stuttgart als Digital Trainee und seit 2021 als Referent ETCS/ATO mit Fokus auf den Innovationsthemen im Projekt Fahrzeugumrüstung ETCS/ATO.

Anschrift: DB Regio AG, S-Bahn Stuttgart, Eisenbahnstraße 42, 73207 Plochingen, Deutschland.

E-Mail: fabian.raichle@deutschebahn.com



Elektro-Ing. Nilesh Sane (39). Als Elektronik-Ingenieur seit 2004 in der Bahnbranche tätig. Bei Alstom (D&IS, innerhalb DACH-Region) im Bereich Engineering, verantwortlich als Projekt Engineering Manager für die ETCS-Projekte inkl. ATO und Innovationsthemen.

Anschrift: Alstom Transport Deutschland GmbH, Joachimsthaler Straße 12, 10719 Berlin, Deutschland.

E-Mail: nilesh.sane@alstomgroup.com



Dipl.-Ing. Thomas Vogel (39). Studium des Verkehrswesens an der Technischen Universität Berlin bis 2010 mit der Vertiefungsrichtung „Planung und Betrieb“ (Schwerpunkt: Eisenbahn). Zwischen 2010 und 2013 Tätigkeit in der Planfeststellung und Kapazitätsüberwachung im Eisenbahn-Bundesamt. Seit 2013 im Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, Referat 36 (Schienengroßprojekte, Schienenknoten Stuttgart, Digitale Schiene), Leiter der Projektgruppe „Digitale Schiene“.

Anschrift: Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, Referat 36, Projektgruppe „Digitale Schiene“, Dorotheenstraße 8, 70173 Stuttgart, Deutschland.

E-Mail: thomas.vogel@vm.bwl.de



M. Sc. Philipp Wagner (26). Studium Mobilität und Infrastruktur am Karlsruher Institut für Technologie sowie an der Technical University of Denmark mit der Vertiefung Bahnbetrieb und Bahntechnologie. Seit 2020 Referent in der Projektgruppe „Digitale Schiene“ im Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, Referat 36 (Schienengroßprojekte, Schienenknoten Stuttgart, Digitale Schiene).

Anschrift: Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, Referat 36, Projektgruppe „Digitale Schiene“, Dorotheenstraße 8, 70173 Stuttgart, Deutschland.

E-Mail: philipp.wagner@vm.bwl.de



sofort
überall
Beiträge
lesen

schon ab
40,00 EUR
pro Jahr für
Abonnenten

Online
Archiv
Suche

www.zevrail.de