

# ETCS auf der Schnellfahrstrecke Wendlingen – Ulm

## ETCS on the Wendlingen – Ulm high-speed line

Peter Barth | Maryam Eftekhari | Hassan El-Hajj-Sleiman | Michael T. Hoffmann | Michael Kümmling | Martin Retzmann | Florian Rohr

Mit dem Fahrplanwechsel am 11. Dezember 2022 ging erstmals in Deutschland eine ETCS-Level-2-Strecke „ohne Signale“ nach Baseline 3 in Betrieb. Zu den weiteren Neuerungen zählen ein weitestgehend generischer Entwicklungsansatz, die erstmalige Fahrzeugzulassung mittels ESC-Typen, ein Verfahren zur Früherkennung gestörter Fahrzeuge (Dispositive Zufahrtssicherung) sowie eine besonders robuste Funkversorgung. Während die Zwischenbilanz aus fast einem halben Jahr kommerziellem ETCS-Betrieb insgesamt sehr positiv ausfällt, ist anhand der bisherigen Erfahrungen noch punktuell nachzubessern.

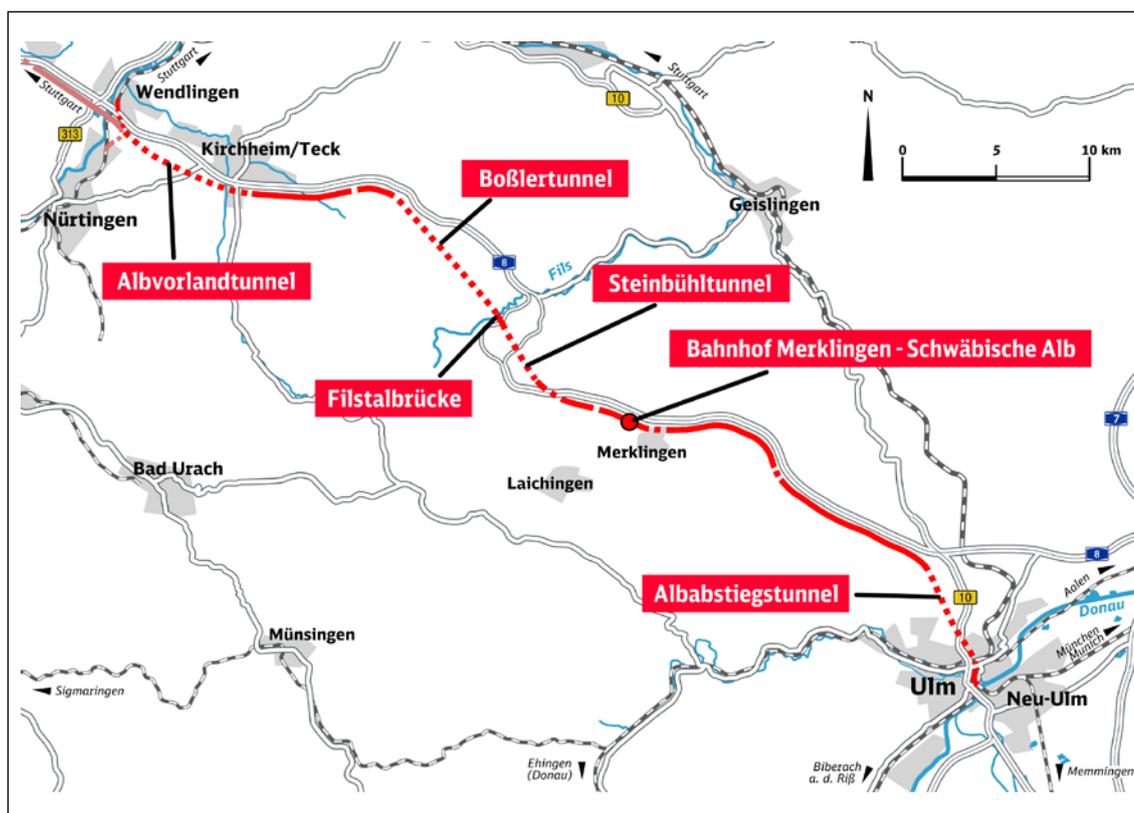
### 1 Projektüberblick

Die Schnellfahrstrecke (SFS) Wendlingen – Ulm (Bild 1) ist eine 60 km lange und weitestgehend für 250 km/h entworfene Hochgeschwindigkeitsstrecke, die zunächst den Bahnhof Wendlingen am Neckar mit dem Hauptbahnhof Ulm verbindet. Die 4 Mrd. EUR teure SFS wird zunächst von rund anderthalb ICE-Zügen pro Stunde und Richtung sowie einem stündlichen, 200 km/h schnellen Regionalverkehr befahren. Mit Inbetriebnahme von Stuttgart 21 soll Ende 2025 der westliche Streckenabschnitt der SFS Stuttgart – Ulm, von Stuttgart-Feuerbach über Stuttgart Hauptbahnhof bis Wendlingen, in Betrieb gehen und an der Neckarquerung Wendlingen nahtlos anschließen. Die gesamte Strecke ist Teil des europäischen Rhein-Donau-Korridors.

With the timetable change on 11 December 2022, an ETCS Level 2 only line (without Class B) according to Baseline 3 went into operation for the first time in Germany. Other innovations include a largely generic approach, the first vehicle approval by means of ESC types, an early detection procedure for vehicles with faulty ETCS and a particularly robust radio coverage. While the interim results after almost six months of commercial ETCS operation are very positive overall, there are still a number of areas where improvements need to be made on the basis of experience to date.

### 1 Project overview

The Wendlingen – Ulm high-speed line (HSL, fig. 1) is a 60-kilometre-long HSL designed for 250 km/h as far as possible, which initially connects Wendlingen station with Ulm Main Station. The 4 billion EUR HSL is initially used by around one and a half ICE trains per hour in each direction as well as an hourly 200 km/h regional service. When Stuttgart 21 is put into operation at the end of 2025, the western section of the Stuttgart – Ulm HSL, from Stuttgart-Feuerbach via Stuttgart Main Station to Wendlingen, is scheduled to be introduced and connect seamlessly at the Wendlingen Neckar bridge. The entire route is part of the European Rhine-Danube corridor.



**Bild 1: Die SFS Wendlingen – Ulm mit wesentlichen Bauwerken**

Fig. 1: The Wendlingen – Ulm HSL with major structures

**Bild 2: Ein Blockkennzeichen neuer Bauform (ETCS location marker)**

Fig. 2: An ETCS location marker on the HSL



Die SFS Wendlingen–Ulm wurde von Siemens Mobility mit einem Elektronischen Stellwerk (ESTW) der Bauform SIMIS D bestehend aus einer fernbedienten Unterzentrale (ESTW-Z) in Wendlingen und drei abgesetzten Stellrechnern (ESTW-A) ausgerüstet. Darauf setzt – erstmals in Deutschland – ETCS Level 2 „ohne Signale“ (ETCS L2oS) nach Baseline 3 auf. Insgesamt wurden 324 Balisengruppen mit insgesamt 430 Balisen, 27 ETCS-Halttafeln (Ne 14), 92 Blockkennzeichen (neuer Bauform, Bild 2) sowie neun Ks-Signale aufgebaut. Die LST (Leit- und Sicherungstechnik)-Ausrüstung der Strecke kostete bislang, einschließlich Planungskosten und Prüfleistungen, rund 13 Mio. EUR.

## 2 Besonderheiten

### 2.1 ETCS „ohne Signale“

Die ursprüngliche Entwurfsplanung, von 2011/2012, sah vor, die SFS mit ETCS Level 2 „mit Signalen“ (L2mS) auszurüsten. Ks-Haupt- bzw. -Mehrschnittssignale waren dabei im Abstand von etwa 10 km geplant – für ETCS-Ein- und -Ausstieg, an Betriebsstellen sowie als Stellsignale für Heißläuferortungsanlagen –, dazwischen Blockkennzeichen. Auf Grundlage der darauf aufbauend erstellten PT1-Planung wurde die LST-Ausrüstung der Strecke Mitte 2017 an Siemens vergeben.

Nicht zuletzt, nachdem im Rahmen des Projekts VDE 8 die praktische Eignung von ETCS L2oS für Hochgeschwindigkeitsstrecken demonstriert wurde [1] und die netzweite Umsetzung von L2oS zunehmend in den Fokus rückte [2], fiel 2018 die Entscheidung, die SFS Wendlingen–Ulm ebenfalls „ohne Signale“ zu realisieren. Damit sollten auch der Ausrüstungsaufwand ebenso wie die Instandhaltung vereinfacht und zusätzliche Störquellen vermieden werden. Licht-Haupt- und -Vorsignale waren seither nur noch an den Streckenenden, bei Wendlingen und Ulm, für den Ein- und Ausstieg aus ETCS vorgesehen.

The HSL Wendlingen–Ulm was equipped by Siemens Mobility with a SIMIS D electronic interlocking system (ESTW) consisting of a remotely-controlled sub-centre (ESTW-Z) in Wendlingen and three remotely controlled computers (ESTW-A). This is the first time in Germany that ETCS Level 2 (without class B) according to Baseline 3 has been installed. Altogether, about 324 balise groups with a total of 430 balises, 27 ETCS marker boards, 92 location markers (fig. 2) and nine Ks signals were installed. The command and control systems (CCS) equipment of the line has so far cost around 13 million EUR, including planning costs and testing services.

## 2 Particularities

### 2.1 ETCS only (without Class B)

The original planning, from 2011/2012, envisaged equipping the HSL with ETCS Level 2 and Class B (Ks signals and PZB). Ks main signals were planned at intervals of about 10 km – for transitions between ETCS and Class B, at stations and crossovers and as actuating signals for hot axle box locating systems – with block indicators in between. Based on the execution planning (PT1) prepared on this basis, the CCS equipment for the line was awarded to Siemens in mid-2017.

Last but not least, after the practical suitability of ETCS Level 2 “without signals” (L2oS) for HSL was demonstrated within the framework of the Nuremberg–Berlin axis (VDE 8) [1] and the network-wide ETCS rollout increasingly came into focus [2], the decision was made in 2018 to equip the HSL Wendlingen–Ulm in this manner. This should also simplify the equipment effort as well as maintenance and avoid additional sources of interference. Therefore, lineside (distant and main) signals have only been installed at the ends of the line, at Wendlingen and Ulm, for transitions from and to ETCS.



**Bild 3: Der viergleisige Personenbahnhof Merklingen**

Fig. 3: The four-track passenger station Merklingen

Quelle / Source: Arnim Kilgus, Sept. 2022

Die Neuerungen und Besonderheiten, die sich aus dem Verzicht auf konventionelle Signale ergeben, waren ein wesentlicher Bestandteil des Vorlaufbetriebs [3].

Mit dem Bahnhof Merklingen (Bild 3) wurde erstmals in Deutschland

- ein (einfacher) Personenbahnhof mit L2oS ausgerüstet,
- die Möglichkeit geschaffen, in einem derartigen Bereich aufzustoßen sowie
- ein Hochleistungsblock mit ETCS realisiert [4].

## 2.2 ETCS-Ein- und Ausstiege in Ulm

Der Stellbereich sowie der ETCS-Ausrüstungsbereich der SFS endet in Ulm vor dem Hauptbahnhof (Bilder 1 und 7), am letzten Blocksignal vor dem Einfahrtsignal Ulm Hauptbahnhof bzw. am ersten Blocksignal nach dem Ausfahrtsignal Ulm. Daran schließt das Stellwerk Ulm Hauptbahnhof – ein Relaisstellwerk vom Typ SpDrS60 von 1967 – an, das 2024 durch ein elektronisches Stellwerk ersetzt und auf das 2027 ETCS aufgesetzt werden soll. Für die SFS wurden an dem Altstellwerk zwei neue Hp-Hauptsignale als zusätzliche Einfahrtsignale für Ulm Hauptbahnhof errichtet.

Im DB-Netz sind für den ETCS-Einstieg unter hohen Leistungsanforderungen drei aufeinander folgende Haupt- bzw. Mehrabschnittssignale erforderlich [13]. Für den ETCS-Einstieg in Ulm wurden die zwei aufeinander folgenden Hauptsignale aus der L2mS-Planung übernommen (Bild 4): Der Einstieg erfolgt dabei etwa 200 m hinter dem Grenzsignal (einem Ks-Mehrabschnittssignal), wobei von der Vorbeifahrt am Grenzsignal und einer über das Zufahrtsicherungssignal (einem Ks-Hauptsignal) hinausgehenden Fahrterlaubnis typischerweise zwei Zehntelminuten liegen. Unter Berücksichtigung der daraus (u. a. aus ETCS-Bremskurven) resultierenden Geschwindigkeitseinschränkungen verlängert sich die Fahrt damit um rund vier Zehntelminuten. Zusätzlich bleibt die Wirkung von Trassierungsoptimierungen [5] in der Ausfahrt Ulm zunächst gering.

Die Variante des ETCS-Einstiegs mit zwei Hauptsignalen war Teil der ursprünglichen Planung (mit L2mS), die kein Zufahrtsicherungssignal und in vielen Fällen ein „Fahrt“ zeigendes Folgesig-

The specialities resulting from the ETCS only operation were an essential part of test campaigns before the commercial operation of the HSL began [3].

At Merklingen station (fig. 3), for the first time in Germany

- a (simple) passenger station was equipped ETCS only
- the possibility for start of mission in such an area has been created as well as
- high-density block with ETCS has been implemented[4].

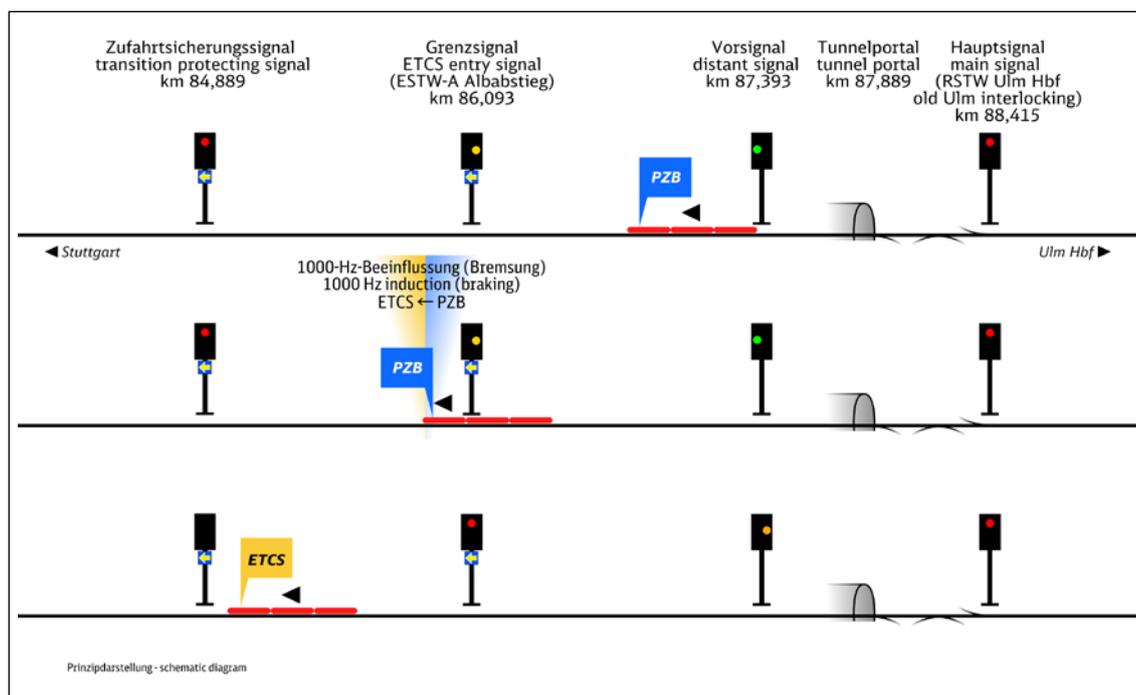
## 2.2 ETCS transitions in Ulm

The interlocking area as well as the ETCS equipment area of the HSL ends in Ulm before the main station (fig. 1 and 7), at the last main signal before the entry signal to Ulm main station or at the first main signal after its exit signal. Connected to this is the Ulm main station interlocking – a relay interlocking (SpDrS60 type) from 1967 – which will be replaced by an electronic interlocking in 2024 and to which ETCS is to be added in 2027. For the HSL, two new main signals (Hp type) were built at the old interlocking as additional entry signals for Ulm main station.

In the DB network, three consecutive main or multi-section signals are required for ETCS transitions under high performance requirements [13]. For the ETCS transition in Ulm, the two consecutive main signals from the old (ETCS+Ks/PZB) planning were adopted (fig. 4). Here, the transition takes place about 200 metres behind the ETCS entry signal (a Ks multi-section signal), and there are typically about twelve seconds between passing the entry signal and a movement authority beyond the transition-protecting signal (a Ks main signal). Taking into account the resulting speed restrictions (e.g. due to ETCS braking curves), the journey times are extended by about 24 seconds. In addition, the benefit of alignment optimisations [5] in this area remains low for the time being.

The variant of the ETCS transition with two consecutive main signals was part of the original planning (with Class B), which did not require a transition protecting signal and in many cases

**Bild 4: Schematischer Ablauf des ETCS-Einstiegs in Ulm Richtung Wendlingen**  
 Fig. 4: Schematic of the ETCS transition in Ulm towards Wendlingen



nal nach dem Grenzsinal erwarten ließ. Eine Variante mit drei Signalen bzw. einem zwischen Grenz- und Zufahrtsicherungssinal angeordnetem alleinstehenden Vorsinal war aufgrund eines zunächst nur als kurz angenommenen Übergangszeitraums zwischen Inbetriebnahme der SFS und ETCS-Ausrüstung des Hauptbahnhofs (Hbf) Ulm verworfen worden.

### 2.3 Dispositive Zufahrtsicherung

Um Fahrzeuge mit gestörtem ETCS noch vor der letzten, in den ETCS-L2oS-Bereich führenden Weiche zu erkennen, wurde eine erste Stufe der Dispositiven Zufahrtsicherung (DZ) [6, 7] umgesetzt: Etwa zehn Minuten vor Einfahrt auf die SFS (Bild 4) kommandieren dabei Balisengruppen [8] eine Einwahl in das deutsche GSM-R-Netz, gefolgt von einem Funkaufbau zum Radio Block Centre (RBC) der SFS. Triebfahrzeugführer werden per Eintrag im Buchfahrplan (Bild 5) aufgefordert zu prüfen, ob ein Funkaufbau auf dem ETCS-Führerraumdisplay (Driver Machine Interface, DMI) angezeigt wird. Erfolgt dies nicht, sind Züge nach weiterer Abstimmung umzuleiten, um zu vermeiden, dass Züge mit offenbar gestörtem ETCS am Zufahrtsicherungssinal zum Halt kommen. Vor den nächsten Knotenbahnhöfen (Ulm Hbf und Plochingen) wird die Funkverbindung mittels Funkabbau-Datenpunkt wieder abgebaut. Insgesamt wurden für die DZ 28 zusätzliche Balisengruppen (56 Balisen) eingebaut.

### 2.4 Spezifikation und Entwicklung

Die Spezifikation der Systemanforderungen an ETCS erfolgt bei DB Netz in Lastenheften. Die Lastenhefte enthalten die betrieblichen und technischen Systemfunktionen (BTSF). Auf der SFS kamen erstmals die Systemanforderungen der Baseline 3 (BTSF3) für eine Ausrüstung ohne Lichtsignale zur Anwendung. Die technischen Systemfunktionen wurden von Siemens in der Streckenausrüstung abgebildet, während die betrieblichen Systemfunktionen von der DB in die entsprechenden Regelwerke und Umsysteme überführt wurden. Dabei wurde erstmalig der Ansatz einer generischen und produktorientierten ETCS-Entwicklung anstelle einer solitären projektspezi-

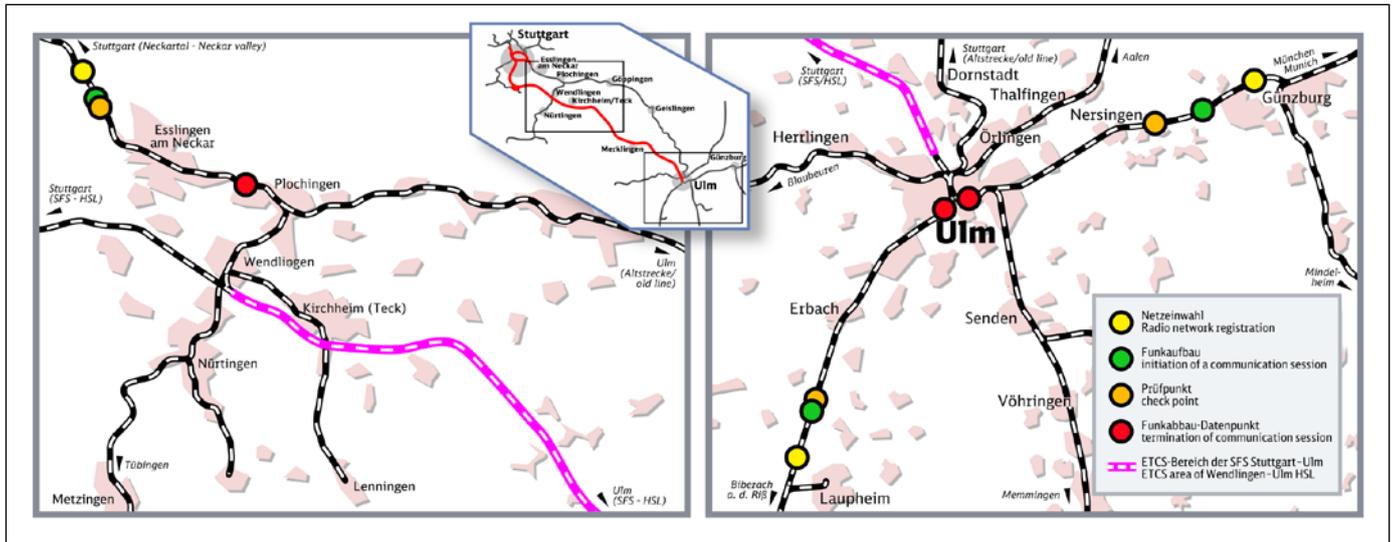
a following signal after the limit signal showing “green”. A variant with three signals a distant signal located between the ETCS entry and the transition protecting signal was rejected due to the interim period between the commissioning of the HSL and the ETCS equipment of Ulm main station, which was initially only assumed to be short.

### 2.3 Procedures for vehicles with faulty ETCS

In order to detect vehicles with faulty ETCS before the last point leading into the ETCS only area, a first stage of an early-warning system (DZ) [6, 7] was implemented: About ten minutes before entering the HSL (fig. 4), balise groups [8] command a network registration at the German GSM-R network, followed by a communication session initiation to the radio block centre (RBC) of the SFS. Drivers are requested by an entry in the timetable book (fig. 5) to check on the Driver Machine Interface (DMI) if a radio session has been established. If this is not the case, trains are to be rerouted after further coordination in order to avoid trains coming to a stop at the transition protecting signal due to an apparently disturbed ETCS. Before the next junction stations (Plochingen and Ulm), the radio connection is terminated again by means of a balise group. A total of additional 28 balise groups (56 balises) were installed for the DZ.

### 2.4 Specifications and development

The specification of the system requirements for ETCS is prepared by DB Netz. The specification contains the operational and technical system functions (BTSF). On the HSL, the Baseline 3 system requirements (BTSF3) for ETCS equipment were applied for the first time. The technical system functions were mapped by Siemens in the trackside equipment, while the operational system functions were transferred by DB to the corresponding sets of rules and peripheral systems. For the first time for ETCS in the DB network, the approach of a generic and product-oriented development was chosen instead of a solitary project-specific development. The integration and validation of the system requirements were carried out separate-



**Bild 5: Netzeinwahl-, Funkaufbau-, Prüf- und Entscheidungspunkte der DZ**  
 Fig. 5: Network registration, radio initiation, check and decision points of the DZ procedure

fischen Entwicklung im Netz der DB gewählt. Die Integration und Validierung der Systemanforderungen erfolgte entkoppelt von den Projektspezifika, sodass abschließend ein mehrfach anwendbares (generisches) Teilsystem Strecke der Zulassungsbewertung und Freigabe unterzogen wurde.

Aufgrund des engen Zeitrahmens mussten die Systemanforderungen aus zwei BTSF-Versionen kombiniert werden: die aus dem damals prüferklärten BTSF3 2.2 – das jedoch nur für die Anwendung von L2mS freigegeben wurde – und das zum Projektbeginn noch nicht prüferklärte BTSF3 3.0, das erstmals auch für die Anwendung von L2oS nach Baseline 3 mit berücksichtigte. Damit wurde eine anwendbare Spezifikationsbasis für die Infrastrukturausrüstung mit ETCS L2oS wie auch L2mS geschaffen. Hingegen wurde ab der Pflichtenheftphase ein mehrfach verwendbares Teilsystem Strecke entwickelt und zur Anwendung gebracht.

Da bei Beginn der PT1-Planung noch kein freigegebenes Regelwerk für L2oS nach Baseline 3 zur Verfügung stand und mit Blick auf den Terminplan, dessen Fertigstellung nicht abgewartet werden konnte, wurde das BTSF3 2.2 herangezogen, dessen L2oS-Anteile noch nicht freigegeben waren. Da die ETCS-Umsetzung nicht vollständig nach BTSF3 3.0 erfolgte, wurden nur die gemäß Spezifikationsbasis relevanten Anteile per unternehmensinterner Genehmigung (UiG) zur Anwendung legitimiert. Dabei mussten die dadurch entstandenen Abweichungen zur bereits umgesetzten Planung auch berücksichtigt werden. Nicht zuletzt wurde in der Planung und Umsetzung bei ETCS-Ausstiegen und Baugleisen in L2oS-Bereichen Klärungsbedarf erkannt, der zunächst kurzfristig per unternehmensinterner Genehmigung (UiG) behandelt wurde. Die im Rahmen der UiG-Antragstellung vorzulegenden Nachweise gleicher Sicherheit waren durch Prüfsachverständige zu bestätigen [9]. Anpassungen an der Planung wurden dennoch erforderlich, beispielsweise durch veränderte Rahmenbedingungen des Rohbaus sowie einzelne in der Abnahmeprüfung festgestellte Mängel.

Die projektspezifische Ergänzung und Legitimierung des PT1-Planungsregelwerkes dauerte über eineinhalb Jahre, band wesentliche Ressourcen und zeigt eindrücklich, dass projektspezifische Lösungen wo immer möglich vermieden werden sollten. Von der gleichwohl weitgehend generischen ETCS-Systementwicklung profitierte unmittelbar noch ein weiteres Projekt, das ebenfalls im Dezember 2022 mit einem gleichartigen RBC der Firma Siemens in Betrieb

ly from the project specifics, so that finally a multi-applicable (generic) track subsystem was subjected to the approval assessment. Due to the tight time frame, the system requirements from two BTSF versions had to be combined: those from the then approved BTSF3 2.2 – which was, however, only released for ETCS with lineside signals/Class B – and BTSF3 3.0, which had not yet been approved at the start of the project and which for the first time also took into account ETCS only applications according to Baseline 3. This created an applicable specification basis for the infrastructure fitting with ETCS with, as well as without, class B. On the other hand, a track subsystem that could be used several times was developed and applied from the specification phase onwards.

Since at the beginning of PT1 planning there was no approved set of rules for ETCS only according to Baseline 3 and, in view of the time schedule, it was not possible to wait for its completion, BTSF3 2.2 was used, the ETCS only parts of which had not yet been approved. Since the ETCS implementation was not carried out completely according to BTSF3 3.0, only the parts relevant according to the specification basis were authorised for use by DB-internal approvals (UiG). The resulting deviation from the already implemented planning also had to be taken into account. Last but not least, a need for clarification was identified in the planning and implementation of ETCS transitions (exits) and tracks closed for construction in ETCS only areas, which were initially dealt with at short notice by UiG. The proofs of equal safety to be submitted as part of the UiG application had to be confirmed by the experts responsible for clearance [9]. Adjustments to the planning were nevertheless necessary, for example due to changes in the general conditions of the shell construction as well as individual deficiencies identified in the acceptance inspection.

The project-specific supplementation and legitimisation of the engineering rules (PT1) and regulations took over one and a half years, tied up key resources and impressively shows that project-specific solutions should be avoided wherever possible. Another project benefited directly from the nevertheless largely generic ETCS system development, which also went into operation in December 2022 with a similar RBC from Siemens: the ETCS equipment of the approximately 37 km long section between

ging: die ETCS-Ausrüstung des rund 37 km langen Abschnitts zwischen dem Bahnhof Darmstadt-Eberstadt und dem Haltepunkt Laudendbach (Bergstraße). Die Inbetriebnahme von zwei unterschiedlichen Projekten mit dem gleichen RBC und der gleichen Spezifikationsbasis (mit wenigen Abweichungen) stellt einen Meilenstein in der ETCS-Entwicklung in Deutschland dar. Diese weitgehende Vereinheitlichung zeigt den inzwischen erreichten Grad der Systemreife von ETCS in Deutschland.

### 2.5 Fahrzeugzulassung nach ESC-Typen

Ein Stück Neuland wurde mit der SFS auch bei der streckenbezogenen Fahrzeugzulassung betreten. Diese war bislang streckenspezifisch, sodass mit jeder neuen Strecke neue Zulassungsfahrten erforderlich wurden. Zwischen Einreichung des entsprechenden Antrags bei der European Union Agency for Railways (ERA) und der Zulassung dürfen bis zu fünf Monate liegen [10]. Da die ETCS-Ausrüstung der SFS aufgrund der parallelen Entwicklungs- und Zulassungsverfahren erst im Juli 2022 vollständig abgenommen werden konnte, bestand das Risiko, dass manche Fahrzeuge ihre Zulassung für die Aufnahme des Fahrgastbetriebs im Dezember 2022 zu spät erhalten. Vor diesem Hintergrund rückten frühzeitig Überlegungen in den Fokus, zur Vereinfachung der streckenbezogenen Zulassung auf das von der ERA eingeführte Konzept des „ESC-Typs“ (ETCS Systemkompatibilität) zurückzugreifen [11]. Dabei wird vereinfacht davon ausgegangen, dass das Verhalten zwischen einem Fahrzeug und einem RBC immer gleich ist und gleich bleibt, wenn ein zweites RBC in bau- und funktionsgleicher Form in einem anderen Projekt in Deutschland dazukommt. Schließlich wird immer dieselbe Software verwendet. Die Fahrzeugprüfung konnte damit auf die Strecke Berlin–Dresden verlagert werden, auf der bereits ein ähnliches RBC von Siemens (nach Baseline 3, SRS 3.4.0) verwendet wird.

Bei genauerer Betrachtung zeigte sich gleichwohl ein Unterschied: Während auf der Strecke Berlin–Dresden noch die Siemens-interne Softwareversion 3.6 lief (die nur in diesem Projekt zum Einsatz kommt), war für Wendlingen–Ulm und im RBC Darmstadt-Eberstadt die Softwareversion 4.0 vorgesehen. Wie sich zeigte, verfügt die Version 4.0 gleichwohl über einen größeren Funktionsumfang, jedoch nur aus Sicht der Infrastruktur. Aus Fahrzeugsicht konnte Siemens stichhaltig nachweisen, dass die Schnittstelle zwischen RBC und Fahrzeug identisch ist. Damit konnte der Berlin–Dresden be-

Darmstadt-Eberstadt station and Laudendbach, near Frankfurt. The commissioning of two different projects with the same RBC and the same specification basis (with few deviations) represents a milestone in ETCS development in Germany. This extensive standardisation shows the degree of system maturity of ETCS in Germany that has been achieved in the meantime.

### 2.5 Vehicle authorisation according to ESC types

The HSL also broke new ground in the area of route-related vehicle approval. Before, this was route-specific, so that new approval journeys were required with each new route. Up to five months may elapse between the submission of the corresponding application to the European Union Agency for Railways (ERA) and the approval [10]. As the ETCS equipment of the HSL could not be fully accepted until July 2022 due to the parallel development and approval procedures, there was a risk that some vehicles would not receive their approval in time for the start of passenger operations in December 2022.

In light of this, early considerations focused on using the concept of the “ESC type” introduced by ERA to simplify the route-related approval [11]. This is based on the simplified assumption that the behaviour between a vehicle and an RBC is always the same, and remains the same if a second RBC of identical design and function is added in another project in Germany. After all, the same software is used. The vehicle testing could thus be shifted to the Berlin–Dresden line, where a similar RBC from Siemens (according to Baseline 3, SRS 3.4.0) is already in use.

However, a closer look revealed a difference: while the Berlin–Dresden line was still running Siemens’ internal software version 3.6 (which is only used in this project), the software version 4.0 was planned for Wendlingen–Ulm and the Darmstadt-Eberstadt RBCs. As it turned out, version 4.0 nevertheless has a wider range of functions, but only from the point of view of the infrastructure. From the vehicle’s point of view, Siemens was able to prove conclusively that the interface between the RBC and the vehicle is identical. This meant that the ESC type “DE-02-B3-L2” [12], which was already the basis for Berlin–Dresden, could be extended to the two other projects. If further lines are built with this ESC type, then the vehicle approval will automatically apply there as well.

#6	Stuttgart-Obertürkheim	Esig 8.66 Ferngleise und S-Bahngleise	Testweise ETCS Funkaufbau prüfen	gilt nur für Z nach Strecke 6 (Wendlingen-Ulm)	11. Dezember 2022		Wurde keine vorübergehende ETCS-Funkverbindung zwischen Obertürkheim und Altbach aufgebaut, unverzüglich FdI Plochingen verständigen
----	------------------------	---------------------------------------	----------------------------------	--	-------------------	--	--

Bild 6: Auszug aus der Zusammenstellung der (...) Langsamfahrstellen mit Aufforderung an den Triebfahrzeugführer, die Funkverbindung zu prüfen

#6	Stuttgart-Obertürkheim	Entry signal at km 8.66: long-distance and S-bahn tracks	Check if ETCS radio session has been established	Only valid for trains heading for Wendlingen	Valid from December 11th, 2022		If no temporary ETCS radio session has been established between Obertürkheim and Altbach, inform dispatcher Plochingen immediately
----	------------------------	--	--	--	--------------------------------	--	--

Fig. 6: Translated excerpt from the timetable book for drivers, requesting them to check the radio connection.

reits zugrunde liegende ESC-Typ „DE-02-B3-L2“ [12] auf die beiden weiteren Projekte erweitert werden. Werden weitere Strecken mit diesem ESC-Typ errichtet, dann gilt die Fahrzeugzulassung automatisch auch dort.

### 2.6 Robuste Funkversorgung

Für die SFS wurden 22 GSM-R-Basisstationen (BTS) aufgebaut, davon 13 Stationen im Freifeld sowie neun in Verbindungsbauwerken der langen Tunnel. Jeweils zwei bis drei BTS sind zu insgesamt zehn Ketten zusammengebunden, die über ringförmige Festnetzverbindungen mit jeweils einer der beiden übergeordneten Steuereinheiten (BSC) verbunden sind. Ein kurzer Tunnel zur Güterzuganbindung wird durch eine Remote Unit versorgt. Eine zunächst geplante Erprobung einer alternierenden BTS-BSC-Anbindung [13] ist nicht erfolgt. Das Funkfeld jeder BTS reicht bis zur jeweils übernächsten BTS, sodass auch der Ausfall einer BTS ohne Auswirkungen auf den ETCS-Betrieb bleibt.

### 3 Erste Betriebserfahrungen

Nach mehr als einem halben Jahr Betrieb und weit über 10 000 kommerziellen Zugfahrten sind die Betriebserfahrungen mit ETCS auf der SFS insgesamt sehr positiv. Betriebsbehindernde Einschränkungen durch ETCS wurden bei etwa einer von 1 000 Zugfahrten beobachtet. Vereinzelt kam es zu Störungen an der ETCS-Fahrzeugausrüstung. Vier kurzzeitige Einschränkungen der ETCS-Infrastruktur ereigneten sich am 24., 25. April, 24. Mai und 4. Juni, als jeweils ein Zug mit unzulässig großer Dämpfung zu einem Funkabbruch im ETCS-Einstiegsbereich bei Wendlingen führte. In Verbindung mit weiteren Umständen erfolgte jeweils ein Warmstart des RBC, infolgedessen mehrere Züge angehalten und per Befehl wieder angefahren wurden. Bei den meisten der wenigen beobachteten Störungen wäre, aus den in [14] skizzierten Gründen, eine Doppelausrüstung (ETCS mit Ks/PZB) letztlich nutzlos geblieben. Durch das DZ-Verfahren wurde dabei noch kein gestörter Zug frühzeitig erkannt. Zu den ETCS-Betriebserfahrungen der SFS folgt noch ein vertiefender Artikel [15].

Angesichts von etwa 1 700 Zügen pro Tag, die ab Ende 2025 im Hochleistungsbetrieb im Kern des Digitalen Knotens Stuttgart (DKS) erwartet werden [13], müssen diese Erfahrungen Ansporn sein, weiter zu optimieren. Im Sinne eines robusten Gesamtsystems darf es nicht nur um die bloße Verfügbarkeit der LST-Infrastruktur gehen, sondern beispielsweise auch um Facetten wie eine robuste Fahrzeugausrüstung, Werkstattprozesse, Handlungssicherheit und Diagnose [6, 16].

Bereits im Vorlaufbetrieb kam bei einzelnen Regionalzügen nach Abfahrt in Ulm kein Rufaufbau zum RBC zustande. Wie sich zeigte, waren Lokomotiven betroffen, die morgens in Ulm aus der benachbarten Instandhaltung bereitgestellt wurden, deren ETCS-Fahrzeugerät beim Auslesen der EVC-Diagnosedaten (European Vital Computer, EVC) zurückgesetzt wurde und nach Neustart „vergessen“ hatte, in welchem Land es sich befand. Während die Netzeinwahl-Datenpunkte (DP 1) auf den erwarteten Zulaufstrecken zum Knoten geplant und verlegt worden waren, wurden auf den entsprechenden Gleisen zwischen dem Personenbahnhof und der benachbarten Werkstatt keine Züge zur SFS erwartet, entsprechend keine derartigen Balisen geplant. Ohne Netzeinwahl in das deutsche GSM-R-Netz funktionierte jedoch auch der kurz nach Abfahrt in Ulm kommandierte Rufaufbau zum RBC nicht. Der Verkehrsvertrag für den Regionalverkehr der Strecke war erst am 30. November 2022, kurz vor der kommerziellen Inbetriebnahme der Strecke, unterzeichnet worden. Das Fahrzeuginstandhaltungskonzept wurde somit erst nach der LST-Planung bekannt. Bis entsprechende Datenpunkte

### 2.6 Robust radio coverage

For the HSL, 22 GSM-R Base Transceiver Stations (BTS) were set up, 13 of them in the open field and 9 in connecting structures of the long tunnels. Two or three BTS are linked together to form a total of ten chains, each of which is connected to one of the two higher-level Base Station Controllers (BSC) via ring-shaped fixed network connections. A short tunnel at the connecting curve in Wendlingen is covered by a remote unit. An initially planned trial of an alternating BTS-BSC connection [13] did not take place. The coverage of each BTS extends to the next but one BTS, so that the failure of one BTS has no effect on ETCS operations.

### 3 Some initial experience

After more than six months of operation and well over 10,000 commercial train journeys, the operational experience with ETCS on the HSL is very positive overall. Restrictions hindering operation due to ETCS were observed in about one in 1,000 train journeys. Occasional faults occurred on the ETCS on-board equipment. Four short-term restrictions of the ETCS infrastructure occurred on 24, 25 April, 24 May and 4 June, when in each case a train with unacceptably high attenuation led to a radio interruption in the ETCS transition near Wendlingen. In conjunction with other circumstances, a warm start of the RBC occurred in each case, as a result of which several trains were stopped and required reset instructions to get going. In the case of most of the few disruptions observed, additional class B equipment would ultimately have remained useless for the reasons outlined in [14]. No disturbed train was detected at an early stage by the DZ procedure. A more detailed article on the ETCS operating experience of HSL will follow [15].

In view of the approximately 1,700 trains per day that are expected from the end of 2025 in high-performance operation in the core of the Stuttgart Digital Node (DKS) [13], these experiences must be a wake-up call for further optimisation. In terms of a robust overall system, it should not only be about the mere availability of the CCS infrastructure, but also, for example, facets such as robust vehicle equipment, workshop procedures, training/experience and diagnostics [6, 16].

Already in pre-commercial operation, individual regional trains were unable to connect to the RBC after departure from Ulm. As it turned out, locomotives were affected that were made available in the morning in Ulm from neighbouring maintenance, whose ETCS on-board unit was reset when reading out the European Vital Computer (EVC) diagnostic data and after restarting had “forgotten” in which country it was located. While the network registration data points had been planned and laid on the expected feeder lines to the node, no trains to the HSL were expected on the corresponding tracks between the passenger station and the neighbouring workshop, accordingly no such balises were planned. However, without network registration into the German GSM-R network, the call set-up to the RBC commanded shortly after departure in Ulm did not work. The contract for regional services on the line had only been signed on 30 November 2022, shortly before the commercial commissioning of the line. The vehicle maintenance concept thus only became known after the CCS planning. Until corresponding data points are retrofitted, a manual check of the network dial-in is carried out by the train driver.

Also in the weeks before commercial commissioning, it was noticed how isolated metal covers of the slab track passable by road vehicles (at the Filstal bridge as well as at the junction near Wend-

nachgerüstet sind, erfolgt eine manuelle Prüfung der Netzeinwahl durch den Triebfahrzeugführer.

Ebenfalls in den Wochen vor der kommerziellen Inbetriebnahme fiel auf, wie vereinzelt Metallabdeckungen der für Straßenfahrzeuge befahrbaren Festen Fahrbahn (an der Filstalbrücke sowie am Abzweig Rübholz bei Wendlingen) bei langsamer Fahrt zu Balisenlesefehlern führten. Entsprechend sind nun Metallwarnungs-Datenpunkte (DP 29) noch nachzurüsten. Bei zukünftigen Projekten könnte eine Lösung darin liegen, die Oberkante der Befahrbarkeits Elemente der Festen Fahrbahn um einen Zentimeter abzusenken.

Ebenfalls fiel im Vorlaufbetrieb auf, wie beim ETCS-Einstieg die Oberstrombegrenzung der Züge nicht, wie vorgesehen und für die geplanten Fahrzeiten notwendig, auf 1500 A angehoben wurde. Als kurzfristige Lösung wurde eine entsprechende Änderung (per Track Condition) unmittelbar „hinter“ die Einstiege projektiert.

#### 4 Ausblick

Mit der Inbetriebnahme der SFS Wendlingen–Ulm und des Streckenabschnitts Darmstadt–Laudenbach sind nun rund 520 km des DB-Netzes mit ETCS befahrbar, zahlreiche weitere Projekte in Planung und Umsetzung.

Im laufenden Jahr werden an der SFS noch einige Restarbeiten erledigt, beispielsweise Metallwarnungs-Datenpunkte und eine zusätzliche Balise für eine Trusted Area im Westkopf des Bahnhofs Merklingen nachgerüstet.

Zu den ICE und den lokbespannten Regionalzügen, welche die SFS befahren, gesellen sich bald weitere Züge. Bereits dieses Jahr soll der TGV Fahrgäste über die SFS befördern. Weitere Fahrzeugtypen werden folgen. Die noch nicht mit Baseline-3-ETCS ausgerüsteten Instandhaltungsfahrzeuge dürfen mit einer bis Ende 2024 befristeten Ausnahmezulassung des Bundesverkehrsministeriums die Strecke ohne wirksame Zugbeeinflussung mit 40 km/h befahren. [3, 17]

Im westlichen Anschluss an Wendlingen wird Ende 2025 ein Teil des DKS in Betrieb gehen. Der Übergang zwischen den RBC von Siemens

lingen) led to balise reading errors during slow travel. Accordingly, balise groups of metal masses still have to be retrofitted. For future projects, one solution could be to lower the upper edge of the slab track by one centimetre.

It was also noticeable during pre-commercial operation that the power consumption limit of the trains was not raised to 1500 A at transition, as intended and necessary for the planned journey times. As a short-term solution, a corresponding change (via track condition) was programmed immediately after the transitions.

#### 4 Perspectives

With the commissioning of the Wendlingen–Ulm HSL and the Darmstadt–Laudenbach section, around 520 km of the DB network are now equipped with ETCS, and numerous other projects are being planned and implemented.

In the current year, some remaining work will be done on the HSL, for example metal warning data points and an additional balise will be retrofitted for a trusted area in the west end of Merklingen station.

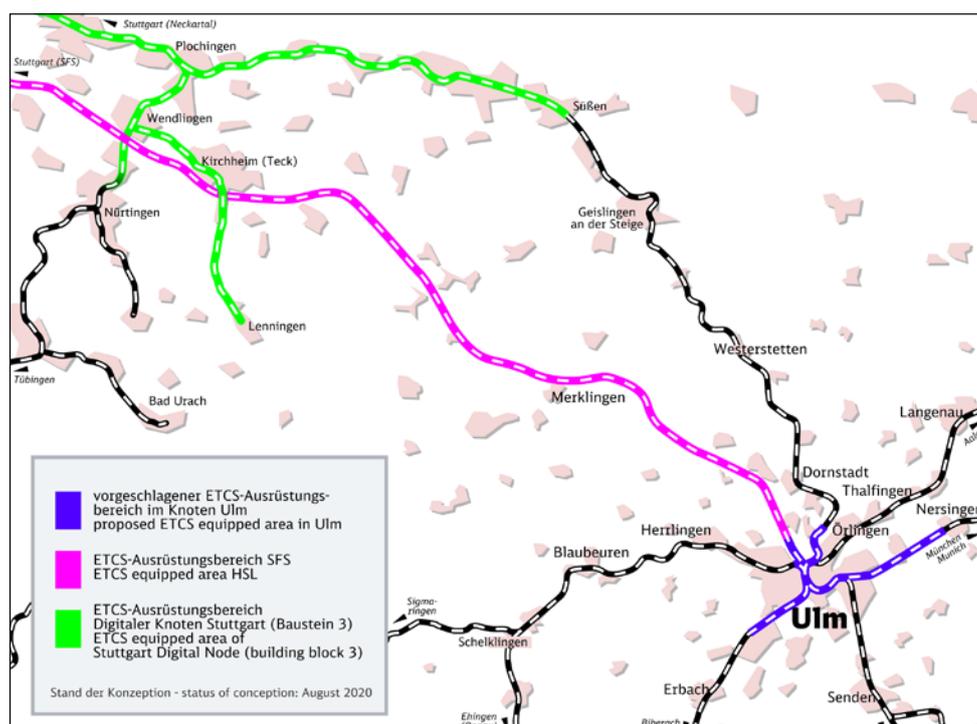
The ICE and the locomotive-hauled regional trains that use the HSL will soon be joined by other trains. In 2023, TGVs are expected to carry passengers over the line. Other vehicle types will follow. The maintenance vehicles, which are not yet equipped with Baseline 3 ETCS, are allowed to travel the route at 40 km/h without working train protection with an exemption permit from the Federal Ministry of Transport that is limited until the end of 2024. [3, 17]

Seamlessly connected to the HSL at Wendlingen, part of the DKS will be in operation at the end of 2025. The transition between the Siemens and Thales RBCs is being planned, and supplier coordination is underway. This is the first time such a cross-supplier NRBC transition is being implemented at DB.

In Ulm main station, the electronic interlocking is now scheduled to go into operation in the 2nd quarter of 2024. This will be followed by further construction stages. It is planned to equip a

#### Bild 7: An die ETCS-Ausrüstung der SFS Stuttgart–Wendlingen–Ulm sollen sich die Ausrüstung des Knotens Ulm (2027) und der DKS-Baustein 3 (bis Horizont 2030) anschließen.

Fig. 7: The ETCS equipment of the HSL is to be followed by the equipment of the Ulm node (2027) and the DKS building block 3 (by 2030).



und Thales ist in Planung, die Abstimmung der Lieferanten im Gang. Erstmals wird ein derartiger Lieferantenübergreifender NRBC-Übergang bei der DB umgesetzt.

In Ulm Hbf soll das ESTW nunmehr im 2. Quartal 2024 in Betrieb gehen. Danach folgen weitere Baustufen. Im Ausblick ist vorgesehen, auf der Grundlage dieses ESTW ab 2027 einen großen Teil des Knotens Ulm mit ETCS auszurüsten (Bild 7).

Bis gegen 2030 wird der DKS im Raum Stuttgart weiter ausgebaut, womit ein Großteil der Bestandsstrecke Stuttgart – Ulm mit ETCS befahrbar sein wird [18, 19]. In diesem Horizont soll auch der Netzbezirk Augsburg (im Rahmen des ScanMed-Projekts) mit ETCS ausgerüstet sein. Damit rückt eine durchgängige Befahrbarkeit zwischen den Räumen Frankfurt/Mannheim und Augsburg/München mit ETCS in Reichweite. ■

Das Projekt wird  
kofinanziert von der  
Europäischen Union.



*The project is  
cofinanced by the  
European Union*

#### AUTOREN | AUTHORS

##### Peter Barth

ehemals Systemvalidierung und Produktqualifizierung ETCS /  
*formerly System validation and product qualification ETCS*  
DB Netz AG  
Anschrift / Address: Adam-Riese-Straße 11-13, D-60327 Frankfurt am Main  
E-Mail: peter.pe.barth@deutschebahn.com

##### Maryam Eftekhari

ehemals Systemvalidierung und Produktqualifizierung ETCS /  
*formerly System validation and product qualification ETCS*  
DB Netz AG  
Anschrift / Address: Hammerbrookstraße 44, D-20097 Hamburg  
E-Mail: maryam.eftekhari@deutschebahn.com

##### Hassan El-Hajj-Sleiman

Technisches Projektmanagement / *Technical project management*  
DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH  
Anschrift / Address: Röpplstraße 17, D-70191 Stuttgart  
E-Mail: hassan.el.hajj-sleiman@deutschebahn.com

##### Michael T. Hoffmann

Inbetriebnahmekoordination DKS /  
*Commissioning coordination Stuttgart Digital Node*  
DB Netz AG  
Anschrift / Address: Presselstraße 17, D-70171 Stuttgart  
E-Mail: michael-theodor.hoffmann@deutschebahn.com

##### Michael Kümmling

Regelwerke und Technologie / *Rules and technology*  
DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH  
Anschrift / Address: Röpplstraße 17, D-70191 Stuttgart  
E-Mail: michael.kuemmling@deutschebahn.com

##### Martin Retzmann

Grundsätze LST/Stellwerk/ETCS/ATO /  
*CCS/Interlocking/ETCS/ATO principals*  
DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH  
Anschrift / Address: Röpplstraße 17, D-70191 Stuttgart  
E-Mail: martin.retzmann@deutschebahn.com

##### Florian Rohr

Fahrzeug-Strecke-Integration / *Vehicle track integration*  
DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH  
Anschrift / Address: Röpplstraße 17, D-70191 Stuttgart  
E-Mail: florian.rohr@deutschebahn.com

large part of the Ulm node with ETCS from 2027 on the basis of this new interlocking (fig. 7).

By around 2030, the DKS in the Stuttgart area will be further expanded, which means that a large part of the old Stuttgart – Ulm line will be operable with ETCS [18, 19]. In this horizon, the Augsburg network district should also be equipped with ETCS (as part of the ScanMed project). Then, continuous ETCS journeys between Frankfurt/Mannheim and Augsburg/Munich will come with to reach. ■

#### LITERATUR | LITERATURE

- [1] Neubaustrecke Erfurt – Leipzig / Halle in Betrieb, Eisenbahn-Revue International 2/2016
- [2] McKinsey & Company: Machbarkeitsstudie zum Roll-out von ETCS/DSTW, Zusammenfassung der Ergebnisse, Dezember 2018 (<https://bit.ly/3r2qral>)
- [3] Stumm, S.: Vorlaufbetrieb der Schnellfahrstrecke Wendlingen – Ulm, Deine Bahn 3/2023
- [4] Blockkennzeichen 24 151 und 24 251, ein Kilometer östlich der westlichen Einfahrtsignale, siehe OpenRailwayMap (<https://bit.ly/3Hu5KO5>), abgerufen am 1.5.2023
- [5] Castano, A.; Hartmann, R.; Lay, E.; Tomaschko, O.; Walf, F.; Weinhold, T.: Umtrassierung des Nordkopfs Ulm während der Bauausführung, DER EISENBAHNINGENIEUR 12/2022 (<https://bit.ly/40r0x0P>)
- [6] Barth, P.; 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>)
- [7] Behrens, M.; Eschbach, A.; Kampschulte, B.; Paltian, A.; Schöppach, M.; Wiedenroth, A.: Robuste Leit- und Sicherungstechnik im Digitalen Knoten Stuttgart, DER EISENBAHNINGENIEUR 11/2022 (<https://bit.ly/3hiu0ZL>)
- [8] Netzeinwahl (DP 1), Funkaufbau (DP 2) sowie Abbruch-Datenpunkt vor Einstiegs-Grenzdatenpunkt (DP 5)
- [9] Nach § 36 (4) Punkt 5 VV GluV
- [10] Durchführungsvorordnung (EU) 2018/545 der Kommission vom 4. April 2018 über die praktischen Modalitäten für die Genehmigung für das Inverkehrbringen von Schienenfahrzeugen und die Genehmigung von Schienenfahrzeugtypen gemäß der Richtlinie (EU) 2016/797 des Europäischen Parlaments und des Rates (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32018R0545>), Artikel 34 (1) und (2)
- [11] European Union Agency for Railways: Guide for the application of the CCS TSI. Version 7.2, 15. März 2022 (<https://bit.ly/3CcmS7T>), 2.6.63 ff.
- [12] siehe <https://www.era.europa.eu/era-folder/de>
- [13] 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 4/2021 (<https://bit.ly/3fiozoJ>)
- [14] Drescher, O.: ETCS Level 2 ohne „Signale“ in einem großen Knoten, Deine Bahn 3/2022 (<https://bit.ly/3O4n5i1>)
- [15] Hierzu folgt in „DER EISENBAHNINGENIEUR“ 12/2023 oder 1/2024 ein vertiefender Artikel.
- [16] 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 (<https://bit.ly/3DHZIOS>)
- [17] Cyril, G.; Klemens, U.; Pantano, S.; Schneider, D.; Trupp, A.; Waldinger, M.: Nachrüstung von Nebenfahrzeugen für den Digitalen Knoten Stuttgart, DER EISENBAHNINGENIEUR 6/2023, <https://bit.ly/3qURLLK>
- [18] 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>)
- [19] Smith, K.; Fender, K.: Stuttgart leads the way in German ETCS rollout, International Railway Journal 4/2023