

Inbetriebnahme von ETCS Level 2 zwischen Oberlahnstein und Assmannshausen

Commissioning of ETCS Level 2 between Oberlahnstein and Assmannshausen

Nils-Hagen Staudt | Daniel Cramer | Alexander Schuler | Wilko Eisele

Mit dem Projekt „Korridor Rhine Alpine“ werden 1360 km Eisenbahnstrecke zwischen Oberhausen Sterkrade und Haltingen mit European Train Control System (ETCS) Level 2 (L2) ausgerüstet [1]. Nach der erfolgreichen Inbetriebnahme (IBN) der drei Radio Block Centres (RBC) des Herstellers Hitachi Rail auf der Rheintalbahn ging am 13. Dezember 2025 nun auch der 55 km lange Abschnitt zwischen Oberlahnstein (Rheinland-Pfalz) und Assmannshausen (Hessen) in Betrieb. Das RBC Oberlahnstein Süd ist das erste Serienprojekt des Herstellers Hitachi, in dem viele prozessuale Ablaufoptimierungen aus dem Vorgängerprojekt angewendet werden konnten.

Between Oberhausen-Sterkrade and Haltingen, 1,360 km of railway track are being equipped with European Train Control System (ETCS) Level 2 (L2) as part of the “Rhine-Alpine Corridor” program [1]. The 55 km section between Oberlahnstein (Rhineland-Palatinate) and Assmannshausen (Hesse) entered service on 13 December 2025 following the successful commissioning of three Hitachi Rail Radio Block Centres (RBC) on the Rhine Valley line. The Oberlahnstein South RBC represents Hitachi Rail’s first series ETCS project, incorporating a wide range of process improvements originating from the previous pilot installation.



Bild 1: Blick aus der Vectron auf den Rhein mit Balisen, Ne14 Tafel und dunkelgeschaltetem Signal

Fig. 1: The view from a Vectron locomotive towards the Rhine, showing the balises, a Ne 14 board and a darkened signal

Quelle / Source: W. Eisele

1 Ausrüstungsbereich

Der Ausrüstungsbereich erstreckt sich von Oberlahnstein (Rheinland-Pfalz) bis Assmannshausen (Hessen) (Bild 1). Das RBC Oberlahnstein Süd ist an die Unterzentrale (UZ) Oberlahnstein Süd angebunden, deren Software in einem Parallelprojekt hochgerüstet wurde, sodass ein Betrieb mit ETCS L2 möglich ist. Die vorhandene Punktförmige Zugbeeinflussung (PZB) samt Lichtsignalen blieb erhalten, um einen Mischbetrieb mit PZB und ETCS L2 mit Signalen (L2mS) zu ermöglichen. Am Ende des ETCS-Ausrüstungsbereichs ist jeweils ein Wechsel nach PZB vorgesehen.

2 ETCS-Ready-Maßnahme

Im Zuge der ETCS-Ready-Maßnahme erfolgten gleichzeitig zum ETCS-Einbau auch Anpassungen an Stellwerk [2] und Bedienoberfläche (BO) [3]. Da das Elektronische Stellwerk (ESTW) fortlaufend mit dem RBC kommuniziert, müssen die eingesetzten Softwarestände miteinander kompatibel sein. Die Erfahrungen aus dem vorliegenden Projekt sowie aus dem Pilotprojekt auf der Rheintalbahn [2] haben gezeigt, dass es sinnvoll ist, sowohl zum Zeitpunkt der Herstellung der Funktionsfähigkeit (HdF) als auch zur IBN von ETCS in einem Projekt jeweils eine Sperrpause und ein Projektierungsupdate des ESTW einzuplanen, um eventuell auftretende Inkonsistenzen unmittelbar korrigieren zu können. Beim HdF wird die erste Softwareversion eingespielt, mit der die Abnahmefahrten durchgeführt werden können. Vor der IBN lassen sich dann Fehlerkorrekturen etwaiger Auffälligkeiten aus den Testfahrten einbringen. Andere zeitliche Abfolgen erwiesen sich als ungünstig, da Unstimmigkeiten im Zusammenspiel zwischen ESTW, ETCS-BO und RBC jederzeit auftreten können. Diese Maßnahmen wurden gebündelt im parallellaufenden ETCS-Ready-Projekt umgesetzt.

3 Planung

Die PT1-Planung für das Projekt „RBC Oberlahnstein Süd“ begann bereits zweieinhalb Jahre vor der Beauftragung des Herstellers. In diesem Zeitraum wurde eine Anpassung an der zugrunde liegenden Ril 819.1344A02 vorgenommen, wodurch eine Überarbeitung der PT1-Planung erforderlich wurde. Die frühzeitige Integration dieser Neuerungen in die PT1-Planung stärkte die Qualität der späteren Umsetzung. Für Planungsbüros sowie Prüfinstanzen besteht die anspruchsvolle Aufgabe, Veränderungen konsequent nachzuverfolgen und überholte Elemente sowie Abhängigkeiten zu aktualisieren, um die Übereinstimmung mit dem jeweils aktuellen Richtlinienstand sicherzustellen. Als wesentlicher Erfolgsfaktor im vorliegenden Projekt hat sich die präzise Vermessung der Strecke vor Beginn der ETCS-PT1-Planung erwiesen. Insbesondere auf Bestandsstrecken zeigt sich häufig, dass die Lage von Signalen oder anderen streckenseitigen Komponenten von den Angaben in den vorhandenen ESTW-Unterlagen abweicht. Solche Diskrepanzen, teilweise um mehrere Meter, können zu erheblichen Abweichungen und Fehlern innerhalb der ETCS-PT1-Planung führen und sollten daher frühzeitig identifiziert und korrigiert werden. Für ein ESTW haben solche Abweichungen keine Auswirkungen auf die Sicherung der Strecke. ETCS hingegen benötigt für eine korrekte Funktion metergenaue Angaben in der Planung.

4 Projektierung der Software

Im PT1 werden Steigungen und Neigungen einer Strecke als Gradienten abgebildet. Erfolgt unmittelbar eine Steigung auf eine Neigung oder umgekehrt, entsteht ein Gradientenwechsel. Gemäß

1 Area of deployment

The deployment area extends from Oberlahnstein (Rhineland-Palatinate) to Assmannshausen (Hesse) (fig. 1). The Oberlahnstein South RBC is connected to the Oberlahnstein South interlocking, the software of which was migrated in a parallel project so as to enable ETCS operations. The existing punctiform train control (Punktförmige Zugbeeinflussung; PZB) system remains in place so as to permit mixed operations with PZB and ETCS with signals. Transitions back to PZB operations have been provided at both ends of the ETCS-equipped area.

2 ETCS Ready

Adjustments to the interlocking system [2] and the operator interface (BO) [3] were carried out in parallel with the ETCS installation as part of the ETCS Ready program. Since the electronic interlocking (ESTW) communicates continuously with the RBC, the used software versions must be mutually compatible. Experience from Oberlahnstein and from the pilot project on the Rhine Valley line has shown that it is advisable to schedule both a possession period and an interlocking configuration update at the time of establishing functional capability (HdF) and again for the ETCS commissioning (IBN), in order to correct any inconsistencies immediately. The first software version is loaded during the HdF phase, thereby enabling the acceptance runs to be performed. Any observations from the test runs as well as any final bug fixes can then be incorporated for the final commissioning process. Other sequencing approaches have also proven disadvantageous, as inconsistencies in the interaction between ESTW, ETCS-BO and RBC may arise at any time. All the required measures were consolidated and executed within the parallel “ETCS Ready” project.

3 Planning

The PT1 planning for the Oberlahnstein South project began roughly two and a half years before the supplier contract was awarded. During this period, an amendment to the underlying Ril 819.1344A02 guideline was introduced that required a revision of the PT1 planning. For design offices and verification bodies, this creates the demanding task of consistently tracking changes and removing any outdated elements and dependencies in order to ensure compliance with the current version of the guideline.

The precise surveying of the line before the start of the ETCS PT1 proved to be a key success factor in the present project planning. It is frequently observed, especially on existing lines, that the actual position of signals or other trackside components deviates from the information contained in the existing ESTW documentation. Such discrepancies, sometimes by up to several metres, can lead to significant deviations and errors within the ETCS PT1 planning and should therefore be identified and corrected at an early stage. These deviations had no impact on the safety of train operations in the ESTW. However, ETCS requires metre-accurate planning data in order to function correctly.

4 Software engineering

The gradients in PT1 are represented as rising or falling values. When an incline immediately follows a decline (or vice versa), a gradient transition occurs. According to Section 75

Ril 819.1344, Abschnitt 75 [6], dürfen die Neigungswerte im PT1 dabei nicht gerundet werden, sondern müssen vollständig übernommen werden. Es sind keine Regeln definiert, um Gradienten im PT1 zu glätten oder zusammenzufassen. Dies kann, insbesondere in langen Gegengleisabschnitten ohne Blockkennzeichen oder -signale, zu einer großen Anzahl an Gradientenwechseln innerhalb einer Movement Authority (MA) führen. Im vorliegenden Projekt wurden dadurch stellenweise die Vorgaben des UNISIG Subset-040, Kapitel 4.3.2.1.1 f [7], zur maximal zulässigen Anzahl von 31 Gradientenwechseln überschritten. Dies hat zur Folge, dass die MA verkürzt wird und bereits vor der vorgesehenen Position eine unerwünschte Überwachung der Bremskurve einsetzt, bevor die MA wieder verlängert werden kann.

Die ERTMS Engineering Guidelines [8] geben Hinweise zur Glättung von Gradienten, die zukünftig genutzt werden könnten, um die Anzahl an Gradientenwechseln im PT1 zu reduzieren. Dies würde den Vorteil bieten, dass für die PT2- und Abnahmeprüfung eine eindeutige und stabile Prüfgrundlage vorliegt und zugleich dem Betreiber ein definierter Einfluss auf die Glättungsstrategie ermöglicht wird. Alternativ kann, wie im vorliegenden Projekt, eine Lösung im Rahmen der PT2-Erstellung erfolgen.

Im konkreten Fall wurde der Problematik dadurch begegnet, dass im PT2 die Gradienten an den betreffenden Stellen bis zu 2000 m vor Geschwindigkeitsreduzierungen und KS-Signalen auf null gesetzt wurden (Bild 2). Alle weiteren Gradienten wurden gemäß den Vorgaben übernommen. Die resultierende Abweichung wurde seitens der DB InfraGO in einem internen Risikomanagementverfahren bewertet, so dass eine konforme Umsetzung nach der Technischen Spezifikation für Interoperabilität und IBN ermöglicht werden konnte.

5 Montage

Nach dem Vorbild der Rheintalbahn [4] wurden auch auf der rechten Rheinseite die Balisen im Verfahren „unter dem Rollenden Rad“ eingebracht. Im Unterschied zum Pilotprojekt erfolgte die Montage jedoch ohne baubegleitende Abnahmeprüfung. Dies wurde durch die Einführung eines projektspezifischen, formal abgestimmten Prozesses ermöglicht, der das Vorgehen regelwerkskonform legitimierte. Hauptbestandteil des Prozesses war ein durch einen unabhängigen Auditor sowie den Abnahmeprüfer durchgeführtes Sicherheitsaudit im Werk der Hitachi Rail. Dabei wurden der Programmier- und

of Ril 819.1344 [6], these gradient values must be adopted exactly as surveyed without any rounding. This can lead to a substantial number of gradient transitions within a single Movement Authority (MA), particularly on long opposite-track sections without any block markers or signals. In this project, the number of transitions in some places exceeded the UNISIG Subset-040 limit of 31 transitions [7], which resulted in shortened MAs and premature triggering of braking-curve supervision before the MA could be extended again.

The ERTMS Engineering Guidelines [8] propose approaches to smoothing gradient profiles, which could help in the future to reduce the number of transitions in PT1. This would offer clearer and more stable foundations for PT2 and acceptance testing and would also allow the infrastructure manager to define a consistent smoothing strategy. Alternately, the solution can also be implemented during the PT2 creation, as was the case in this project.

In the specific case of Oberlahnstein South, the issue was resolved by setting the gradients to zero for up to 2,000 m ahead of any speed reductions or signals (fig. 2). All the remaining gradients were retained according to the rules. The resulting deviation was assessed and accepted in a DB InfraGO internal risk-management procedure, thus ensuring TSI-compliant implementation and commissioning.

5 Installation

Following the approach used on the Rhine Valley line [4], the balises were installed “under traffic”, i.e. under the rolling wheel. Unlike in the pilot project, however, the installation was performed without any on-site acceptance inspections during construction. This was made possible by means of the introduction of a project-specific and formally approved process that ensured full compliance with the applicable rulebooks.

A core element of this process was a safety audit performed by an independent auditor and the acceptance inspector at the Hitachi Rail production facility. The audit comprehensively reviewed the programming and verification processes for balises along with all the associated documentation and the results were recorded in a dedicated audit report. [9] This ensured that no incorrectly pro-

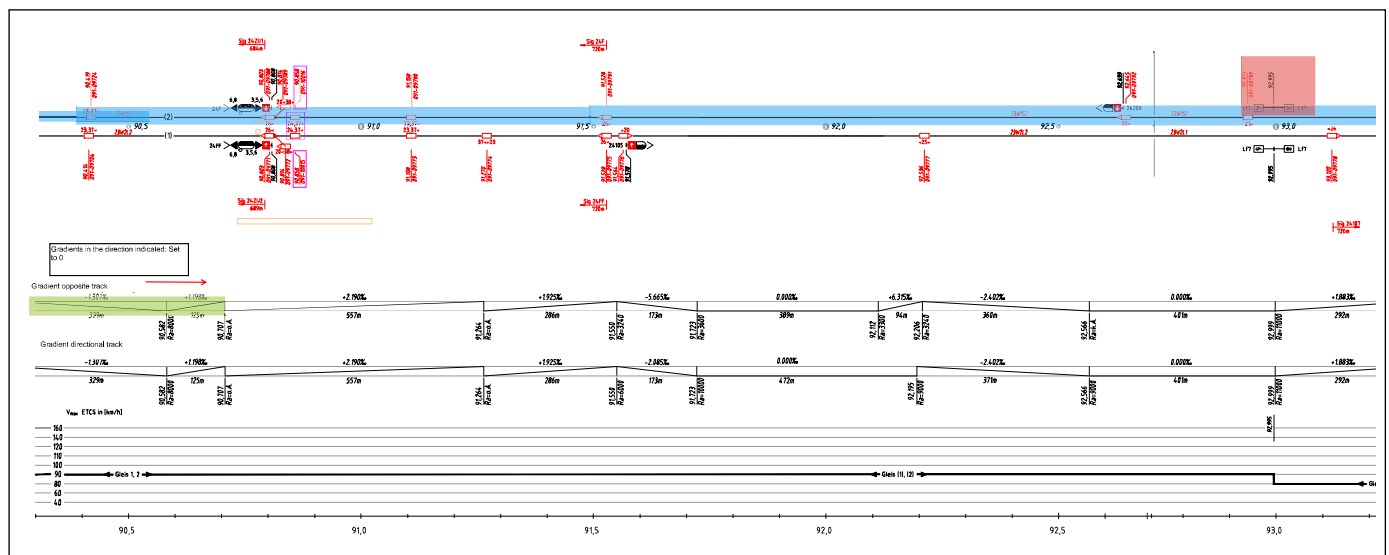


Bild 2: Gradientenglättung Oberlahnstein Süd (rot – maßgebliches Signal; grün – zu glättende Gradienten)

Fig. 2: Gradient smoothing in Oberlahnstein South (red – a governing signal; green – gradients to be smoothed)

Quelle / Source: DB & Hitachi Rail

Prüfprozess der Balisen sowie die zugehörige Dokumentation umfassend bewertet und in einem Auditbericht festgehalten. [9] Durch dieses Vorgehen konnte sichergestellt werden, dass keine fehlerhaft programmierten Balisen das Werk verlassen. Zur Bestätigung, dass die Balisen im Feld korrekt verbaut worden waren, wurden zudem die Montageprotokolle herangezogen.

Ergänzend bestätigte ein durch den Hersteller vorgelegtes Rückwirkungsfreiheitskonzept [10], dass das Einbringen der Balisen ohne Abschirmbleche unbedenklich ist, sofern definierte Voraussetzungen eingehalten werden. Eine Beeinflussung von PZB-fahrenden Fahrzeugen konnte dabei ausgeschlossen werden. Sollte dennoch solch eine Beeinflussung auftreten, wurde analog zur Rheintalbahn der in [4] beschriebene Störfallerfassungsprozess angewandt. In enger Abstimmung aller beteiligten Stellen konnte das Verfahren im Projektverlauf reibungslos umgesetzt werden. Dieser Ablauf ist inzwischen auch in der Betriebserprobung 02-03-05-02-01-W-103 [11] festgehalten.

Zeitgleich stellte die Abnahme im Gleis das Projekt vor die Herausforderung, dass der Abnahmeprüfer aufgrund eisenbahnbetrieblicher Randbedingungen deutlich mehr Zeit im Gleis verbringen musste und daher auf Sperr- bzw. Zugpausen angewiesen war. Zukünftig soll das Vorgehen durch eine mögliche werkseitige Abnahme der Baliseninhalte weiter optimiert werden, da dadurch der Umfang der Tätigkeiten im Gleis reduziert und die Abnahmeprozesse effizienter gestaltet werden können.

Für die Projektlaufzeiten ist zudem eine möglichst fehlerfreie Montage der Balisen von zentraler Bedeutung. Durch die hohe Anzahl einzubringender Balisen, PT1-Änderungsmittelungen sowie örtliche Randbedingungen kann die Ausrüstungssituation schnell unübersichtlich werden. Um die Prozesssicherheit zu erhöhen, setzt Hitachi Rail ein digitales Montagetool ein, in dem alle relevanten Prüffragen systematisch abgearbeitet und der jeweilige Montagezustand dokumentiert wird. Ergänzend wird jede Balise fotografisch erfasst. Das Foto zeigt sowohl die vom Vermessungsteam vorab am Schienenfuß angebrachte Anzeichnung als auch das Balisenschild mit NID-BG. Dadurch lässt sich auf einen Blick verifizieren, ob die Balise korrekt positioniert wurde (Bild 3).

6 Abnahme

6.1 Statische Abnahme

Um den Abnahmeprozess zu verkürzen und den Aufwand für die Abnahme zu reduzieren, wurde im Projekt „RBC Oberlahnstein Süd“ erstmals die digitale Vermessungsmethode X2BIM erfolgreich pilotiert [12]. Dabei wurde die Strecke mittels Drohnenflug hochauflösend erfasst und anschließend mit den vorhandenen Trassendaten verknüpft. Auf dieser Grundlage war es möglich, Distanzen von über 300 m zwischen Bezugspunkten und Balisen digital auszumessen und deren Richtigkeit für die Abnahme belastbar zu bestätigen. Dabei dienten die von Hitachi Rail bereitgestellten digitalen Vermessungsdaten als Grundlage, um die relevanten Standortinformationen direkt in das X2BIM-Modell zu importieren (Bild 4). Zur Verifizierung konnten die Balisen zudem eindeutig auf den aufgenommenen Bildern identifiziert werden. Die Methode bietet über die reine Abnahme hinaus ein erhebliches Potenzial für zukünftige Projekte. Bereits in der PT1- und PT2-Planungsphase kann X2BIM eingesetzt werden, um geplante Einbauorte hinsichtlich Baufreiheit und örtlicher Gegebenheiten zu prüfen. Dies verhindert spätere Änderungszyklen. Gleichzeitig lassen sich präzise Geokoordinaten erzeugen, die dem Hersteller übergeben werden können, sodass Balisen während der Bauausführung punktgenau positioniert werden können.

grammed balises could leave the factory. The installation protocols were used for field confirmation to verify the proper placement and data integrity.

Additionally, the manufacturer also provided a concept for the absence of a reaction [10], thus confirming that installing the balises without any shielding plates is safe, provided specific conditions have been met. This assessment ruled out any interference with trains operating under PZB supervision. Nevertheless, should an unexpected incident occur, the same fault-logging process applied on the Rhine Valley line would also be used [4]. Close coordination among all the stakeholders ensured smooth implementation throughout the project and this procedure has since been documented in 02-03-05-02-01-W-103 [11].

The acceptance process on the track presented a particular challenge: the acceptance inspector had to spend significantly more time on the track due to operating constraints and was therefore dependent on possession windows and train-free periods. Future projects may benefit from the acceptance of the balise data, which would reduce the scope of any on-track inspections and significantly improve efficiency.

The high number of balises to be installed, the PT1 change notifications and the local boundary conditions mean that the installation environment can quickly become complex. Hitachi Rail employed a digital installation tool to increase process reliability. This tool systematically guides the technicians through all the relevant verification steps and documents the installation state. Additionally, every balise is also photographed: the image shows both the pre-marked reference point applied to the rail foot by the surveying team as well as the balise ID plate (NID-BG). This enables immediate visual confirmation that the balise has been installed at the correct position (fig. 3).



Bild 3: Montagebild aus digitalem Montagetool

Fig. 3: An installation photograph from the digital installation tool

Quelle / Source: Hitachi Rail

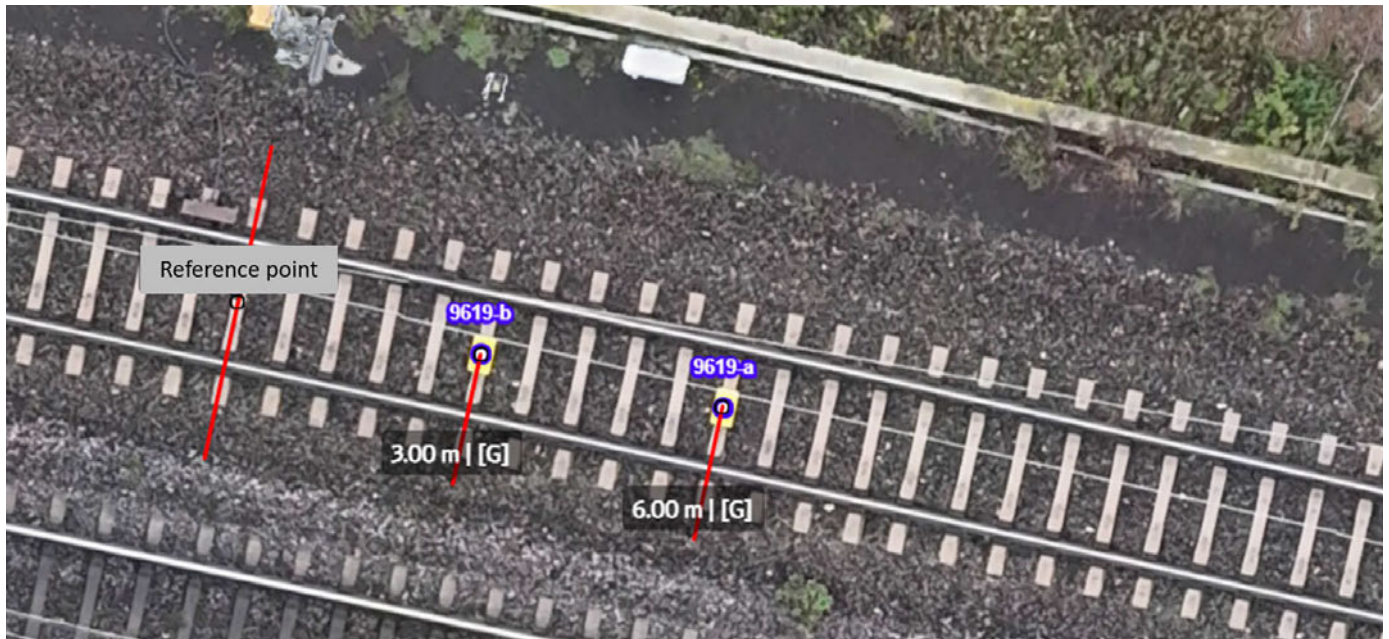


Bild 4: Importierte Datenpunkte in X2BIM

Fig. 4: Imported data points in X2BIM

Quelle / Source: X2BIM, D. Cramer

6.2 Dynamische Abnahme

Bei den Abnahmefahrten kam erstmals der Hitachi-eigene Erprobungsträger Lucy zum Einsatz (Bild 5) – ein umgebauter Triebwagen des Typs VT 420, der Hitachi Rail als mobile Testplattform zur Erprobung zukünftiger Technologien dient [13]. Ausgestattet mit einem ETCS-Fahrzeuggerät von Hitachi Rail konnten große Teile der erforderlichen Abnahmefahrten mit diesem Fahrzeug durchgeführt und erfolgreich abgeschlossen werden. Für die abschließenden Prüfungen, insbesondere, um die Forderung nach einer Fahrt mit maximal zulässiger Geschwindigkeit zu erfüllen [14], wurde ergänzend eine Siemens-Vectron eingesetzt.

6 Acceptance tests

6.1 Static acceptance

The X2BIM digital surveying method [12] was successfully piloted for the first time in the Oberlahnstein project so as to accelerate the acceptance process and reduce the on-site inspection effort. The entire route was captured using high-resolution drone-based aerial surveying and subsequently linked with the existing alignment data. Distances of over 300 m between reference points and balises could be measured digitally and validated with sufficient accuracy for acceptance based on this combined model.



Bild 5: Lucy vor dem Start der Abnahmefahrten in Rüdesheim

Fig. 5: Lucy prior to the start of the dynamic acceptance runs in Rüdesheim

Quelle / Source:
N.-H. Staudt, Hitachi Rail

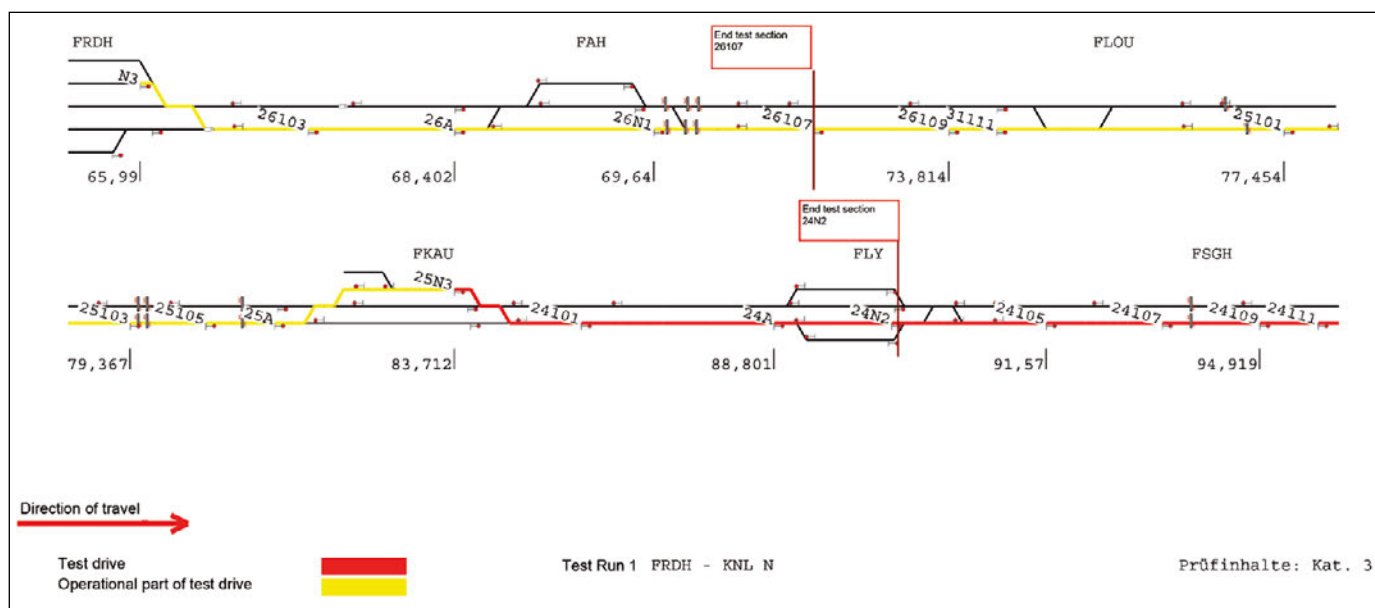


Bild 6: Spurplanbänder aus MakSi-Tool

Fig. 6: Track plan bands generated with the MakSi tool

Quelle / Source: DB InfraGO AG

Die Abnahmefahrten konnten innerhalb von dreieinhalb Fahrtagen durchgeführt werden. Die Planung und Strukturierung der Fahrwege sowie der zu prüfenden Elemente erfolgten digital mithilfe des MakSi-Tools (Bild 6). Die Fahrten fanden unter unterschiedlichen betrieblichen Rahmenbedingungen statt, darunter Fahrten im Bauschatten, während Totalsperrung, unter eingleisiger Sperrung sowie im Regelbetrieb mit umgeleitetem Güterverkehr auf die linke Rheinseite. Zusätzliche Einschränkungen entstanden durch insgesamt sieben Bahnübergänge, die mittels Bahnübergangsposten gesichert werden mussten.

Zur Begrenzung der örtlichen Ausdehnung des Abnahmeabschnitts und damit der Abnahmefahrten wurden temporäre Einwahldatenpunkte vom Typ 4 verlegt, um den mit dem Abnahmefahrzeug zu befahrenden Bereich auf ein Minimum zu reduzieren. Ziel war eine Aktualisierung der Prioritätenliste der Levelwahl der Vectron, welche mit SRS 3.4.0 ausgerüstet war und somit außerhalb eines L2-Bereichs kein Level 2 auswählbar ist. Dabei zeigte sich jedoch, dass ein manueller Funkaufbau via Start of Mission außerhalb des RBC-Bereichs über einen Typ 4 mit einer dem RBC unbekannten NID-BG nicht möglich ist, da das RBC die Verbindung umgehend wieder terminiert. Separate Funkaufbaubalisen (Typ 2) erwiesen sich in dieser Konstellation als zielführende Lösung.

Zur weiteren Reduzierung der Abnahmefahrten wurde in Abstimmung mit dem Richtlinienautor auf die Prüfung einzelner Datenpunkte Typ 1 mittels Abnahmefahrt verzichtet. Da diese ausschließlich die GSM-R-Netzeinwahl steuern und sich als erste und damit am weitesten vom Abnahmeabschnitt entfernter Balisen befinden, ist eine Überprüfung aller Fahrkonstellationen via Abnahmefahrt zwar technisch möglich, jedoch nicht erforderlich.

Im Bereich des Loreley- und des Roßteintunnels zeigte sich während der Abnahmefahrten, dass der Streckenverlauf durch die eingeleisige äußere Tunnelröhre im Bogen deutlich länger ist als der Verlauf der inneren Röhre. Diese Abweichung war in den PT1-Unterlagen der Bestandsstrecke nicht berücksichtigt, da sie im ESTW-Betrieb zu keinen funktionalen Einschränkungen führte. Im ETCS-System wirkte sich diese Differenz jedoch unmittelbar auf die Balisenlogik aus: In der äußeren Tunnelröhre war der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Balisen größer als

The digital surveying data provided by Hitachi Rail served as the basis for importing all the relevant location information directly into the X2BIM model (fig. 4). During verification, each balise could be uniquely identified in the captured imagery, thereby enabling precise confirmation of its correct positioning.

In addition to its immediate relevance for acceptance, the method also offers significant potential for future projects. X2BIM can already be used during PT1 and PT2 planning to verify planned installation locations with regard to construction feasibility and local constraints. This prevents later modification cycles and enables the generation of precise geocoordinates that can be submitted to the manufacturer so that the balises can be positioned with a high degree of accuracy during installation.

6.2 Dynamic acceptance

Hitachi Rail's own Lucy test vehicle, a modified VT 420 multiple unit, was deployed in dynamic testing for the first time (fig. 5) [13]. Equipped with a Hitachi Rail onboard unit, LUCY was able to perform the majority of the required dynamic acceptance runs successfully. An additional Siemens Vectron locomotive was used for final verifications, particularly those requiring a maximum permissible speed [14].

All the dynamic acceptance runs were completed within three and a half test days. The planning and structuring of the test routes and test items were conducted digitally using the MakSi tool (fig. 6). The test runs took place under various operating scenarios, including shadow-of-construction operations, full closures, single-track closures and regular traffic with diverted freight trains operating on the opposite side of the Rhine. Additional constraints were also imposed by seven level crossings that required staffing by crossing attendants.

Temporary Type 4 login balises were installed in order to reduce the spatial extent of the acceptance section, thereby restricting the area that needed to be traversed by the acceptance vehicle. The goal was to update the Level Selection Priorities in the Vectron, which cannot select Level 2 outside an active L2 RBC area as per SRS 3.4.0. It became evident, however, that a manual Start of Mission (SoM)-initiated radio session outside the RBC boundary via

in der PT1-Planung vorgegeben. Dies führte zu einer Zwangsbremmung des Fahrzeugs und wurde als Balisenlesefehler verzeichnet.

Zur Behebung dieses Problems wurden zusätzliche Gleiskanten sowie ein Kilometersprung eingefügt, um den realen Streckenverlauf korrekt abzubilden und die Plausibilitätsprüfungen im RBC sicherzustellen. Der Vorfall verdeutlicht die hohe Bedeutung von Abnahmefahrten, da die örtlichen Gegebenheiten häufig von den Planungsunterlagen abweichen und sich solche Differenzen erst im fahrdynamischen Testbetrieb offenbaren. Die eigentlichen Abnahmegegenstände wie End of Authority (EoA), Geschwindigkeiten oder Einstiege verursachen dabei selten relevante Mängel.

7 Inbetriebnahme

In Oberlahnstein war kurz vor IBN des ETCS-Systems ein ESTW-Update erforderlich, das unmittelbar vor der IBN eingespielt wurde. Nachdem auch diese Anpassung reibungslos verlief, konnte das ETCS-System am 13. Dezember 2025 erfolgreich in Betrieb gehen. Zwischen dem 14. Dezember 2025 und dem 14. Januar 2026 verkehrten insgesamt 158 ETCS-geführte Züge des DB Fernverkehr sowie von Cargo-Eisenbahnverkehrsunternehmen auf der Strecke. In der aktuellen Betriebsphase nutzen etwa sechs ETCS-geführte Züge pro Tag die Strecke. Nennenswerte Vorkommnisse oder Komplikationen wurden seit der IBN nicht festgestellt.

8 Fazit und Ausblick

Die reibungslose IBN sowie die hohe Anzahl an Zugfahrten zeigen, dass das ETCS-System bereits im aktuellen Entwicklungsstand zuverlässig betrieben werden kann. Gleichzeitig wurde ersichtlich, dass die im Vorgängerprojekt gewonnenen Erfahrungen erfolgreich in das Projekt „RBC Oberlahnstein Süd“ eingeflossen sind und erste Optimierungen umgesetzt wurden. Dennoch wurden in vielen Bereichen weitere Potenziale zur Prozessvereinfachung und Qualitätssteigerung erkennbar.

Ein wesentlicher Ansatzpunkt ist die durchgängige Digitalisierung der Planungsprozesse. So sollten die einzelnen Bestandteile der PT1-Planung, etwa die Datenpunkttafel, der Übersichtsplan oder die MuKa-Signale, stärker miteinander verknüpft werden. Werden Änderungen in einem Dokument automatisch auf alle abhängigen Planungsteile übertragen, lassen sich Konsistenzprobleme vermeiden, erneute PT1-Durchläufe reduzieren und Rückfragen deutlich verringern.

Eine weitere große Effizienzsteigerung könnte durch die konsequente Nutzung vollständig digitaler Planunterlagen, beispielsweise im PlanPro-Format, erzielt werden. Obwohl diese derzeit aus verschiedenen Gründen nur eingeschränkt verfügbar sind, ermöglichen sie ein hohes Maß an Automatisierung: Zahlreiche PT1-Vorgaben könnten über standardisierte Importfunktionen innerhalb weniger Sekunden in PT2-Unterlagen überführt werden. Dies führt nicht nur zu erheblichen Zeit- und Kosteneinsparungen, sondern reduziert auch die Fehleranfälligkeit erheblich.

Ein zusätzlicher Ansatz zur Verschärfung des Planungsprozesses betrifft die Aufteilung der PT1-Planung für die ETCS-Zentrale in mehrere, den jeweiligen ESTW-A zugeordnete Teilplanungen. Diese Modularisierung soll bereits in kommenden Baustufen am rechten Rheinufer realisiert werden. Durch die verkleinerten Dokumentumfänge lassen sich Prüfprozesse beschleunigen, Änderungsschleifen verkürzen und Vorgänge parallelisieren. Auch Teile der PT2-Unterlagen können analog unterteilt werden, was weitere Zeitgewinne verspricht.

a Type 4 balise with an NID-BG unknown to the RBC is not possible, as the RBC immediately terminates the session. Dedicated Type 2 radio-initiation balises proved to be the only effective solution.

The validation of certain Type 1 balises via dynamic testing was waived in order to further reduce the number of test runs and in agreement with the guideline author. Since these balises only manage GSM-R network routing and are the first in the sequence, and therefore farthest from the acceptance section, an acceptance run is technically feasible but not required.

During the acceptance runs in the Lorelei and Roßstein tunnels, it became clear that the alignment through the outer single-track tunnel tube is significantly longer than in the inner tube due to the curvature. This discrepancy had not been reflected in the PT1 documentation of the legacy line, as it had no functional significance for ESTW operations. In ETCS, however, the difference immediately affected the balise logic: the distance between two consecutive balises in the outer tube exceeded the PT1 specification. This triggered emergency braking and the event was logged as a balise reading error.

In order to correct this, additional track edges and a kilometre jump were introduced so as to map the actual alignment accurately and ensure correct RBC plausibility checks.

This incident highlights the critical importance of dynamic acceptance runs, as real-world conditions often differ from the planning data and such deviations only become apparent during live operational testing. Actual functional parameters such as End of Authority (EoA), speeds or entry points rarely cause significant issues; rather, it is these physical-alignment discrepancies that tend to surface during testing.

7 Commissioning

As in previous projects, a further ESTW software update was required shortly before the ETCS L2 commissioning in Oberlahnstein. This update was installed immediately ahead of the commissioning weekend and was completed without any complications. As a result, the ETCS system was successfully commissioned on 13 December 2025.

Between 14 December 2025 and 14 January 2026, a total of 158 ETCS-operated trains, consisting of DB long-distance services and various freight operators, passed through the newly equipped section. Approximately six ETCS-operated trains use the line every day in the current operating phase. No significant incidents or operating irregularities have been recorded since the system went live.

8 Conclusion and outlook

The smooth commissioning and the high number of ETCS-operated train movements demonstrate that the system can already be operated reliably at its current maturity level. At the same time, the project clearly shows that the lessons learned from the preceding Rhine Valley line project have been successfully transferred into the Oberlahnstein project and that initial optimisations have already been realised. Nevertheless, further potential for procedural streamlining and quality improvements have become visible across many disciplines.

A key lever lies in the consistent digitalisation of the planning processes. PT1 components, such as the data-point table, overview plans or MuKa signal lists, should be more closely integrated. Consistency issues can be avoided, the number of PT1 iterations can be

Herausfordernd bleibt jedoch die Sicherstellung der Konsistenz zwischen den verschiedenen PT1-Teilplanungen, da diese an zahlreichen Schnittstellen miteinander verbunden sind. Zudem bedarf es klar definierter Absprachen zum Umgang mit streckenweit geltenden Planungselementen, wie den statischen Streckeneigenschaften, die zentral gepflegt und für alle Teilplanungen synchronisiert werden müssen.

Weitere Verbesserungen können in der Nutzung digitaler Tools, wie dem hier beschriebenen X2BIM oder Montagetool, liegen. Auch sollte durch Prozesseinhaltung und Wissensaufbau die Qualität der Unterlagen und Software beibehalten werden, um Änderungsschleifen in späten Projektstadien zu vermeiden.

Insgesamt zeigt sich: Das System ist betriebsstauglich, und die Projekte generieren wertvolle Erkenntnisse für zukünftige Ausrüstungen. Gleichzeitig eröffnen digitalisierte Prozesse und modulare Planungsansätze signifikante Potenziale, um zukünftige IBN von ETCS L2 schneller, ressourcenschonender und qualitativ robuster umzusetzen. ■

LITERATUR | LITERATURE

- [1] DB InfraGO AG, „Digitale Schiene Deutschland“, Deutsche Bahn, 17.12.2025. [Online]. Available: <https://digitale-schiene-deutschland.de/de/aktuelles/2025/etcs-am-rhein>. [Zugriff am 19.01.2026]
- [2] Eisele, W.; Zills, M.; Pich, F.; Helwig, M.; Schuler, A.; Eftekhari, M.: „Realisierung und Inbetriebnahme ETCS L2 Freiburg-Basel“, EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 01/2026, pp. 8-14
- [3] DB InfraGO AG, 819.1344-W-101A2, 2023
- [4] UNISIG, Dimensioning and Engineering rules Subset 040, 07.04.2009
- [5] E. E. U. Group, „ENGINEERING GUIDELINE – 28. Gradient segmentation“, 2024-06-28
- [6] „Sicherheitsaudit Balisen Programmierung und Validierung (internes unveröffentlichtes Dokument)“, 2025
- [7] Hitachi Rail, „Nachweis-konzept Rueckwirkungsfreiheit neuer Technik ETCS L2 Strecke ab DB 3.3 (internes unveröffentlichtes Dokument)“, 2024
- [8] „02-03-05-02-01-W-103 – Zudeckungsbedarf für Datenpunkte ETCS L2 während Baumaßnahmen“, DB InfraGO AG, 01.09.2025
- [9] DB E.C.O. Group, „Datenplattform X2BIM“, 2026. [Online]. Available: <https://db-eco.com/de/insights/uas-unmanned-aircraft-systems/datenplattform-x2bim/>. [Zugriff am 08.03.2026]
- [10] DB InfraGO AG, „Moving Block Demonstrator“, [Online]. Available: <https://digitale-schiene-deutschland.de/de/projekte/Moving-Block-Demonstrator>. [Zugriff am 03.08.2025]
- [11] DB InfraGO AG, „892.9248-W-101 Arbeitsinformationen für die Abnahme von Streckenkomponenten ETCS Level 2 Baseline 3“, 20.09.2023
- [12] Lastenheft ETCS – Betrieblich-technische Systemfunktionen für ETCS SRS Baseline 3 –, Baseline: 6.5 (V 3.0), ID .2998: Nicht im Linking enthaltene Balisen werden als maskiert bezeichnet.
- [13] Bolay, J.: Haltfallbewertung unter ETCS, Dresden: Technische Universität Dresden, 2023
- [14] Spang, F.: „System Bahn“, [Online]. Available: <https://www.system-bahn.net/archiv/etcs-bedieneroberflaeche-fuer-fahrdienstleiter/>. [Zugriff am 08.03.2026]
- [15] Kümmling, M.: „stellwerke.info“, [Online]. Available: <https://stellwerke.info/artikel/34-bauformen/115-elektronisches-stellwerk-estw-190>. [Zugriff am 08.03.2026]

reduced and the volume of clarification requests can be significantly minimised if the changes in one document are automatically propagated to all the dependent planning artefacts.

A further major efficiency gain could be achieved through the broader utilisation of fully digital planning documents, such as Plan-Pro-based data. Although these are currently only partially available for various reasons, there is room for substantial automation: many PT1 specifications could be transferred into PT2 documents within seconds using standardised import functions. This would not only save considerable time and cost but also significantly reduce error susceptibility.

Another promising approach involves the modularisation of PT1 planning for the ETCS-RBC by dividing the documentation into several sub-packages aligned with the respective ESTW-A areas. This modular structure is planned for upcoming construction phases along the right-hand bank of the Rhine. Smaller document sets accelerate reviews, shorten amendment cycles and allow parallel processing. Portions of the PT2 documentation may be structured similarly, thereby offering additional time savings. The main challenge will be ensuring consistency across all the PT1 sub-packages, as they remain interconnected through numerous interfaces. Clear agreements will be required for handling planning elements that apply across the entire route, such as static line characteristics, which must be centrally maintained and synchronised for all the sub-packages.

Further improvements can be achieved by consistently employing digital tools, such as X2BIM or the digital installation tool described earlier. In addition, maintaining strong procedural discipline and continuous knowledge development will also help ensure high-quality planning documents and software, thereby reducing the likelihood of late-stage amendment cycles.

Overall, the project has demonstrated that the ETCS L2 system is fully fit for operational deployment and that current projects are generating valuable insights for future upgrades. At the same time, digitalised workflows and modular planning approaches offer significant potential to deliver upcoming ETCS L2 commissioning projects faster, more resource-efficiently and with enhanced robustness. ■

AUTOREN | AUTHORS

Nils-Hagen Staudt, M. Sc.

Projektleitung ETCS L2 & ESTW / Project Manager ETCS L2 & ESTW
Hitachi Rail
Anschrift / Address: Thalesplatz 1, D-71254 Ditzingen
E-Mail: nils-hagen.staudt@hitachirail.com

Daniel Cramer, M. Sc.

Senior Projekt-Ingenieur ETCS / Senior Project Engineer ETCS
DB InfraGO AG
Anschrift / Address: Adam-Riese-Straße 11-13, D-60327 Frankfurt am Main
E-Mail: daniel.da.cramer@deutschebahn.com

Wilko Eisele, M. Sc.

Leiter Inbetriebnahmesteuerung ETCS Korridor Rhine-Alpine / Head of Commissioning Control ETCS Corridor Rhine-Alpine
DB InfraGO AG
Anschrift / Address: Adam-Riese-Straße 11-13, 60327 Frankfurt am Main
E-Mail: wilko.eisele@deutschebahn.com

Alexander Schuler, B. Eng.

Experte Inbetriebnahme ETCS / ETCS Commissioning Expert
DB InfraGO AG
Anschrift / Address: Adam-Riese-Straße 11-13, 60327 Frankfurt am Main
E-Mail: alexander.a.schuler@deutschebahn.com