

Vergleich der nationalen ETCS-Level 2-Implementierungen

A comparison of national ETCS Level 2 implementations

Juan Simón-Muzás | Julia Kalkreiber

Das Europäische Zugbeeinflussungssystem European Train Control System (ETCS) wurde ursprünglich als eine Reihe standardisierter Funktionen konzipiert, die es den Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) ermöglichen sollten, ETCS optimal an die betrieblichen und technischen Vorschriften der nationalen Eisenbahnnetze anzupassen. Die nationalen Implementierungen von ETCS Level 2 (L2) unterscheiden sich jedoch erheblich voneinander, was zum Teil auf unterschiedliche Ansätze und eigenständige Entwicklungen zurückzuführen ist. In diesem Beitrag werden die unterschiedlichen nationalen Implementierungen von ETCS L2 anhand zweier ausgewählter Szenarien analysiert.

1 Ursachen unterschiedlicher nationaler ETCS-Implementierungen

Die Ursprünge von ETCS gehen auf die Erfahrungen zurück, die im Rahmen des ASTREE-Projekts (Automatisation du Suivi des Trains en Temps Réel, Automatisierung der Zugverfolgung in Echtzeit) der französischen Staatsbahn (SNCF) Ende der 1980er und Anfang der 1990er Jahre gesammelt wurden. Ziel des Projekts war es, die praktische Umsetzung des Fahrens im wandernden Raumabstand (Moving Block) zu demonstrieren. Der angestrebte Nutzen eines solchen Systems bestand in der Steigerung der Streckenkapazität und der Senkung der Kosten, um die Wettbewerbsfähigkeit der Eisenbahnen zu erhöhen. Diese Erfahrungen führten zur Definition von ETCS als ein modulares, auf Balisen basierendes System mit drei möglichen Ausrüstungsstufen (Levels) [1].

Die an dem Projekt beteiligten Ingenieure waren sich der unterschiedlichen Sicherheitsphilosophien, betrieblichen und technischen Regeln der einzelnen europäischen Eisenbahnnetze bewusst. Aus diesem Grund wurde ETCS als ein Baukasten mit Funktionen und Betriebsarten konzipiert. Dieser sollte jedem EIU und/oder jeder Eisenbahnbehörde ermöglichen, ETCS an die Eigenschaften ihres Eisenbahnnetzes, insbesondere an die nationalen Betriebsverfahren, anzupassen. Während die ETCS-Fahrzeugausrüstung durch das Subset-026 [2] standardisiert ist, wird hinsichtlich der streckenseitigen Ausrüstung mit ETCS mehr Freiraum gelassen, um die Integration von ETCS in die verschiedenen Eisenbahnsysteme zu ermöglichen, was zu verschiedenen Implementierungen führte [3].

Bild 1 zeigt ein Fishbone-Diagramm, in dem die Ursachen für die heterogenen nationalen Implementierungen in vier Hauptkategorien zusammengefasst sind. Abgesehen von diesen offensichtlichen länderspezifischen Unterschieden hat eine Reihe von Faktoren im Zusammenhang mit der späteren Entwicklung des Eisenbahnsektors und der nationalen Umsetzungsstrategie zu den verschiedenen Implementierungen von ETCS L2 in Europa geführt.

The European Train Control System (ETCS) was originally conceived as a set of standardised functions to enable infrastructure managers (IMs) to adapt ETCS optimally to the operating and technical rules of each national railway network. However, national ETCS Level 2 (L2) implementations often differ significantly from one another, partly due to the different approaches that are embraced and rather independent development. This article analyses different national implementations of this ETCS level based on two selected scenarios.

1 The reasons for different national ETCS variants

The origins of ETCS can be traced back to the experiences acquired through the ASTREE project (Automatisation du Suivi des Trains en Temps Réel) [Automation of Train Spacing in Real Time] of the French National Railways (SNCF) in the late 1980s and early 1990s. The project aimed to demonstrate the practical implementation of the "Moving Block". The benefits pursued with such a system included increased performance and reduced costs, thereby making railways more competitive. These experiences led to the definition of ETCS as a three-level balise-based modular system [1].

The engineers involved in the project were aware of the different safety philosophies and the operating and technical rules used by each European national railway network. For this reason, ETCS was designed as a toolbox of functions and modes available to every IM and/or national railway authority, thereby enabling them to adapt it to the needs, rules and features of their railway network. While the ETCS on-board equipment has been highly standardised by Subset-026 [2], more freedom is allowed trackside in order to permit the integration of ETCS into the different railway systems, thus leading to various solutions [3]. Fig. 1 depicts a fishbone diagram in which the causes of heterogeneous national implementations have been summarised into four main categories. In addition to these foreseeable differences between countries, a group of factors related to the subsequent development of the railway sector and the national implementation strategy has also led to a varied map of national ETCS L2 implementations across Europe.

2 Selected scenarios

The deployment of Eurobalises, as well as the operating and technical solutions for specific operating scenarios, has been analysed in a master's thesis [4] at the Dresden University of Technology.

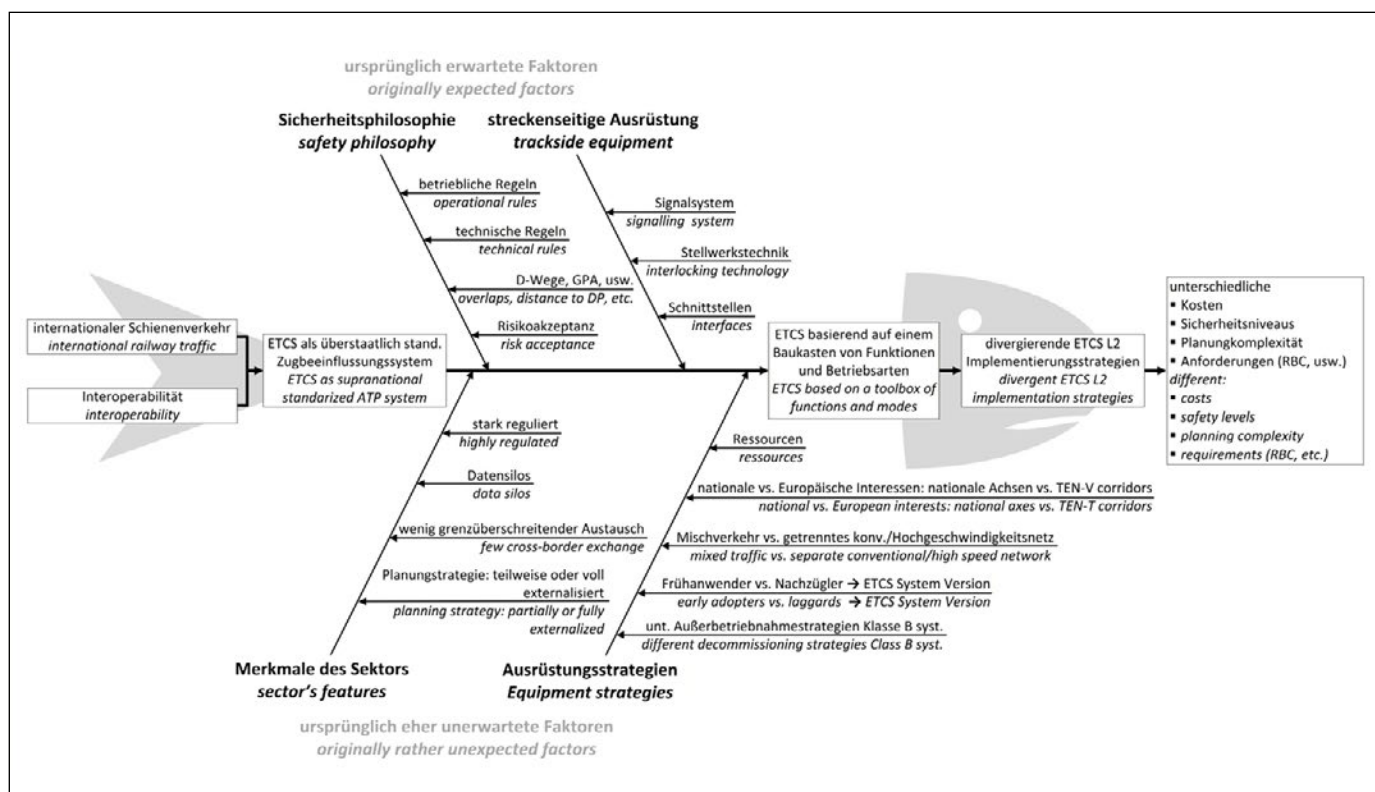


Bild 1: Fishbone-Diagramm zur Ursachenanalyse der heterogenen nationalen Implementierungen von ETCS L2, Untersuchung ausgewählter Szenarien

Fig. 1: A fishbone diagram of the root cause analysis of the heterogeneous national implementations ETCS L2, analysis of selected scenarios Quelle/ Source: [4]

2 Ausgewählte Szenarien

Der Einsatz von Eurobalisen sowie die betriebliche und technische Lösung für bestimmte Betriebsszenarien wurden in einer Masterarbeit [4] an der Technischen Universität (TU) Dresden analysiert. Die Untersuchung beschränkte sich auf fünf ausgewählte Länder mit ETCS L2-Erfahrung. Es wurden die Gemeinsamkeiten und Unterschiede sowie Vor- und Nachteile der einzelnen nationalen Implementierungen von ETCS L2 analysiert.

Aufgrund unterschiedlicher Bezeichnungen von Balisengruppen (BG) in den jeweiligen nationalen Regelwerken wurde im Rahmen der Untersuchungen ein einheitliches System zur Kategorisierung von BG vorgeschlagen. Die folgenden beiden BG-Typen dienen neben der Fahrzeugortung zusätzlich der Übertragung von Informationen an das Fahrzeug in Form von Paketen:

- BG Typ S (Signal) an Hauptsignalen. Diese bestehen aus zwei ungesteuerten Balisen und enthalten in der Regel Pakete, u.a. 137 „Stop if in SR“ (DB InfraGO, ÖBB-Infrastruktur);
- BG Typ B1 (Border 1) für Transitionen nach bzw. aus ETCS L2 auf der freien Strecke. Sie enthalten u.a. die Pakete 3, 42, 45 oder 46.

Insbesondere in Bahnhöfen ist es wichtig, die Ortungsungenauigkeit der Fahrzeuge zu begrenzen, da die Entfernungen zu ETCS-Gefahrpunkten oft gering sind. Dies wird durch eine höhere Anzahl von Balisen erreicht. Die folgenden BG-Typen dienen ausschließlich der Ortung, enthalten oft keine Pakete und bestehen aus einer oder zwei ungesteuerten Balisen:

- BG Typ T (Track) zwischen den Hauptsignalen, die das betrieblich nutzbare Hauptgleis begrenzen;
- BG Typ M (Manoeuvring): innerhalb des Weichenbereiches. Sie begrenzen die Risiken, die im Szenario ETCS-H0003 vom Subset-113 [6] beschrieben sind;

The scope was limited to five selected countries with experience of ETCS L2. Similarities, differences, advantages and disadvantages of each national ETCS L2 implementation were analysed.

A standardised system for categorising balise groups (BGs) was proposed as part of the study due to the varying terminology used to refer to BGs in the respective national regulations. Trackside is one of the two parts involved in the national implementations. A system for categorising BG types and comparing national ETCS L2 implementations has therefore been suggested:

- Type S BG at main Signals. Comprised of two fixed balises, usually containing packets such as 137 “Stop if in SR” (DB InfraGO, ÖBB-Infrastruktur).
- Type B1 BG (Border 1) for transitions into and out of ETCS L2 on a free track, usually containing Packets 3, 42, 45 or 46, amongst others.

It is essential to limit any location inaccuracies, especially at stations. The vehicle location must be precise, as the distances to the danger points are sometimes short. This is achieved through a higher number of balises. The following BG types serve solely for location purposes, often do not contain any packets and consist of one or two fixed balises:

- Type T BGs, on main Tracks.
- Type M BGs are located within the throat or more precisely within the “interlocking area” according to the American terminology [5]. They are relevant for Manoeuvring and mitigate the hazards described in ETCS-H0003 [6].
- Type B2 BGs are employed as a Border between any sidings and the area equipped with ETCS L2, i.e. the limit of the route map of the Radio Block Centre (RBC).

Fig. 2 shows the deployment of BGs according to the proposed system and the standard Start of Mission (SoM) procedure for trains located in the rear or in advance of a Type T BG on the

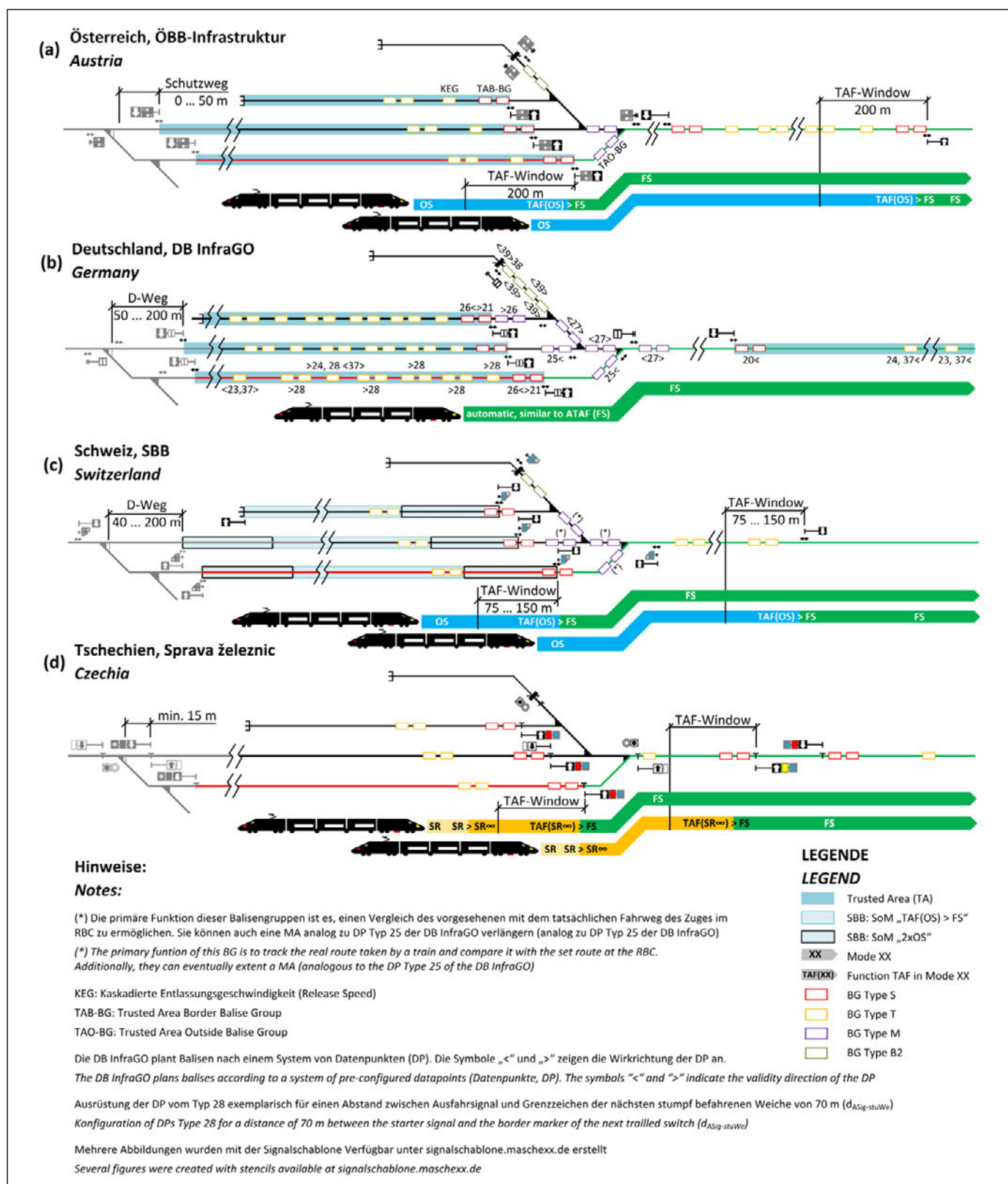


Bild 2: Anordnung von BG für den Kopf eines kleinen Bahnhofs für das Standard-SoM-Verfahren von vier nationalen ETCS L2-Implementierungen

Fig. 2: A BG Installation on one side of a small station and the standard SoM procedures from four national ETCS L2 implementations Quelle/Source: J. Simón-Muñoz

- BG Typ B2 (Border 2): Grenze zwischen mit ETCS L2 ausgerüstetem und nicht ausgerüstetem Bereich.

Bild 2 zeigt den Einsatz von BG gemäß den zuvor eingeführten BG-Kategorien für das Standardverfahren für das Aufstarten von Zügen (Start of Mission, SoM), die sich vor oder hinter einem BG Typ T auf

main track. Some IMs with safety philosophies based on short overlaps, such as ÖBB-Infrastruktur (fig. 2a), install additional balises such as KEG-BG (kaskadierte Entlassungsgeschwindigkeit, Release Speed) behind the main signals as a compensation measure [4].

dem Hauptgleis befinden. Einige EIU mit einer Sicherheitsphilosophie, die auf kurzen Durchrutschwegen basiert, installieren als Kompensationsmaßnahme zusätzliche Balisen vor Hauptsignalen. Die ÖBB-Infrastruktur (Bild 2a) sieht für diesen Zweck beispielsweise die KEG-BG (kaskadierte Entlassungsgeschwindigkeit, Release Speed) vor [4]. Zwei der fünf untersuchten Szenarien werden in den folgenden Abschnitten behandelt: „SoM“ und „Rangieren auf Haupt- und Nebengleisen“.

2.1 SoM

SoM ist ein Initialisierungsverfahren für die ETCS-Ausrüstung der Fahrzeugeinrichtungen gemäß Subset-026 [2], das zum Beginn einer Zugfahrt verwendet wird. Die nationalen Umsetzungen dieses Verfahrens wurden auf Basis der nachfolgenden drei Bedingungen untersucht, die für ein erfolgreiches SoM erfüllt sein müssen:

- Fahrstraßenverschluss und -festlegung
- Übermittlung der Fahrzeugposition an das Radio Block Centre (RBC)
- Freisein des Gleisabschnittes zwischen Zugspitze und Zwischen- bzw. Ausfahrtsignal.

Das Verfahren endet damit, dass das RBC dem Triebfahrzeug eine Fahrerlaubnis (Movement Authority, MA) erteilt.

2.1.1 Fahrstraßenverschluss und -festlegung

Eine Fahrstraße muss vor jedem SoM verschlossen und festgelegt sein. Das Stellwerk ist dafür verantwortlich, dies zu überprüfen. Die zulässige Geschwindigkeit der Fahrstraße wird durch die einzelnen Fahrstraßenelemente und Projektierungsdaten definiert. Wenn der Prozess erfolgreich abgeschlossen ist, wird das Signal auf „Fahrt“ gestellt. Damit kann die MA an das Fahrzeug übertragen werden.

2.1.2 Übermittlung der Fahrzeugposition an das RBC

Die zweite Bedingung für ein erfolgreiches SoM betrifft das Fahrzeug selbst. Bevor ein Zug ein SoM ausführt, muss er dem RBC seine Position und andere im ETCS-Fahrzeuggerät gespeicherte Informationen übermitteln. Das RBC prüft anschließend den Status dieser Informationen, bevor es eine MA erteilt. Die Zustände der Daten können durch folgende Aktionen geändert werden: Löschen (delete, D), Zurücksetzen (reset, R), Unverändert (unchange, U) oder Revalidieren (to be revalidated, TBR) [2]. Die Zugposition ist für SoM besonders relevant und kann drei verschiedene Zustände annehmen: gültig, ungültig oder unbekannt [2], die sich durch die oben genannten Aktionen ändern können.

Das Verfahren SoM ist beispielsweise nach der Abstellung bzw. Abrüstung eines Zuges erforderlich, was mit einem Wechsel in die Betriebsart „Stand By“ (SB) oder „No Power“ (NP) sowie einer Beendigung der Kommunikation durch ein „End of Mission“ (EoM) verbunden ist. Die beiden Betriebsarten SB und NP führen zu Aktionen, die die gespeicherten Daten verändern, wie in Tab. 1 [2] dargestellt. Ein Zug, der ein EoM durchführt und in einen dieser beiden Betriebsarten übergeht, ändert seinen Zugpositionsstatus von „gültig“ zu

The operational procedure is the second part of the puzzle. Two of the five analysed scenarios will be addressed in the following sections: “SoM” and “Shunting on main tracks and sidings”.

2.1 SoM

SoM is an initialisation procedure for the ETCS onboard equipment based on Subset-026 [2], which is used to initiate train movement. The national implementations of this procedure have been studied based on the structure involving the three conditions that must be met for a successful SoM:

- route setting and locking
- the provision of the vehicle position report to the RBC and
- the clearance of the track ahead between the train and the starter signal.

The process concludes with the RBC issuing a Movement Authority (MA) to the leading engine.

2.1.1 Route setting and locking

The interlocking is responsible for checking the fulfilment of the first condition. The route must have been set and locked. The speed will be determined by each element along the route and by the trackside data. Once the process has been successfully completed, the starter signal will show a “proceed” aspect, so that the MA can be sent to the vehicle.

2.1.2 The provision of the vehicle position report to the RBC

The second condition relates to the vehicle (onboard) itself. Before executing an SoM, a train must provide the RBC with data, such as its position and any other information stored in the onboard equipment. The RBC then checks the status of this information before issuing an MA. The data states can be changed through the following actions: delete (D), reset (R), unchange (U) or to be revalidated (TBR) [2]. The train position is particularly relevant for an SoM and can hold three different statuses, valid, invalid or unknown [2], which can change throughout the aforementioned actions.

A train often performs an SoM after having been parked. Therefore, an SoM is usually initiated from Stand By (SB) or No Power (NP) mode, after which the termination of the communication session is followed by an End of Mission (EoM). These two modes lead to actions that change the stored data, as shown in tab. 1 [2]. A train performing an EoM and entering into one of these two modes changes its train position status from valid to invalid or unknown status, as depicted in fig. 3 [2]. New trains are equipped with Cold Movement Detectors (CMD), a vehicle sensor that can determine whether a vehicle has moved within the first 72 hours after entering NP mode [2]. CMDs will be compulsory with the introduction of the TSI CCS of 2023 [7].

Another common scenario to consider in a safety case is that the vehicle may be passively shunted onto another main track or

Fahrzeugseitige Daten	mode NP	mode SB
Zugposition	D	TBR
ETCS Level	TBR	U
Triebfahrzeugführer	TBR	U
Funknetz-ID	D	TBR
RBC ID / Telefonnummer	U	U
Zugnummer	TBR	U
Reversing Area Information	D	TBR
Prioritätstabelle der streckenseitig unterstützten Levels	D	D

Tab. 1: Aktionen der fahrzeugseitigen Daten in den Betriebsarten NP und SB

Data stored onboard	mode NP	mode SB
train position	D	TBR
ETCS Level	TBR	U
driver ID	TBR	U
radio network ID	D	TBR
RBC ID / phone number	U	U
train running number	TBR	U
Reversing Area information	D	TBR
table of priority of trackside supported levels	D	D

Tab. 1: The ETCS onboard data actions of NP and SB modes Quelle / Source: [2]

„ungültig“ oder „unbekannt“, wie in Bild 3 [2] dargestellt. Neue Züge werden mit dem System Cold Movement Detection (CMD) ausgerüstet, einem Fahrzeugsensor, der feststellen kann, ob sich ein Fahrzeug innerhalb der ersten 72 Stunden nach Wechsel in den Modus NP bewegt hat [2]. CMD werden seit der Einführung der TSI ZZS 2023 verpflichtend [7].

Wird ein Fahrzeug vor der Ausführung einer SoM passiv auf ein anderes Gleis rangiert, wird eine eventuell vom Fahrzeug gemeldete gültige Position nicht auf die tatsächliche neue Position aktualisiert [8]. Somit ist die bloße Meldung einer gültigen Position durch das Fahrzeug für ein SoM nicht ausreichend. Dies bedeutet, dass die Position des Zuges sowohl gültig als auch eindeutig (auch: vertrauenswürdig) sein muss, damit das RBC eine MA im Modus Full Supervision (FS) ab einem Hauptsignal senden kann.

Gemäß der funktionalen Definition entspricht eine Trusted Area (TA) einem Abschnitt des Hauptgleises, der durch seine beiden begrenzenden Hauptsignale definiert wird. Nach einer topologischen Definition ist die TA der Gleisabschnitt zwischen den BG der begrenzenden Signale. Bei den untersuchten EIU wurden zwei grundlegend unterschiedliche Ansätze in Bezug auf TA zum Umgang mit der Mehrdeutigkeit der Zugposition bei SoM festgestellt:

- SoM ohne Definition von TA: Dieses Konzept basiert auf der Annahme, dass jeder Zug, der eine SoM durchführen soll, eine mehrdeutige Position hat. Sobald die Fahrstraße festgelegt und verschlossen ist, fährt der Zug in der Betriebsart On Sight (OS) oder Staff Responsible (SR) mit begrenzter Geschwindigkeit weiter. Nach kurzer Zeit liest die Antenne des Fahrzeugs die erste aus mindestens zwei Balisen bestehender BG auf dem Hauptgleis, die dann zur letzten relevanten Balisengruppe (LRBG) wird und eine eindeutige Position meldet (z. B. „TAF(OS) > FS“ der Schweizerische Bundesbahnen AG (SBB), Bild 2c). Befindet sich die LRBG ein Stück vor dem Hauptsignal, so erhält das Fahrzeug vor dem Erreichen des Startsignals eine MA in FS. Wenn dies nicht gelingt oder der Zug nach der letzten BG des Typs T den SoM durchführt, kann die Positionsmeldung erst an der BG am Hauptsignal gesendet werden. In diesem Fall verzögert sich der Vorgang um einen Signalabschnitt (z. B. „2xOS“ der SBB, Bild 2c). Dadurch muss der Zug bis zum nächsten Hauptsignal in Betriebsart OS oder SR verbleiben. Diese Variante wird von der SBB und auf einigen Strecken der Správa železnic (CZ, Eisenbahninfrastrukturbetreiber in Tschechien) verwendet (Bild 2d).
- SoM mit Definition von TA: Eine Positionsmeldung eines Zuges, der sich innerhalb einer TA befindet, kann als eindeutig und damit zuverlässig angesehen werden, wenn die LRBG des Fahrzeugs eine der Balisen am Hauptsignal oder eine andere Balise innerhalb der TA ist. Das passive Rangieren des Fahrzeugs in eine TA ist nicht abgesichert, sodass ein SoM-Verfahren für die Rückfallebene projiziert werden muss. Bei der ÖBB-Infrastruktur (Österreichische Bundesbahnen) (Bild 2a) fahren die Züge in der Betriebsart OS vor, während sie bei der DB InfraGO (Bild 2b) eine MA in FS im Stillstand erhalten können. Andere Infrastrukturbetreiber wie Banedanmark (DK), SNCF Réseau (FR) projizieren ebenfalls TA.

Mittelfristig könnte die streckenseitige Ausrüstung, wie sie mit dem derzeitigen TA-Konzept verbunden ist, überflüssig werden, sobald alle Fahrzeuge mit CMD-Sensoren ausgestattet sind.

2.1.3 Freisein des Abschnittes zwischen Zugspitze und begrenzendem Hauptsignal

Die dritte Bedingung für ein erfolgreiches SoM betrifft die Infrastruktur. Gleisfreimeldeanlagen liefern Informationen über den Belegungszustand eines Gleisabschnitts. Darüber hinaus erhielt

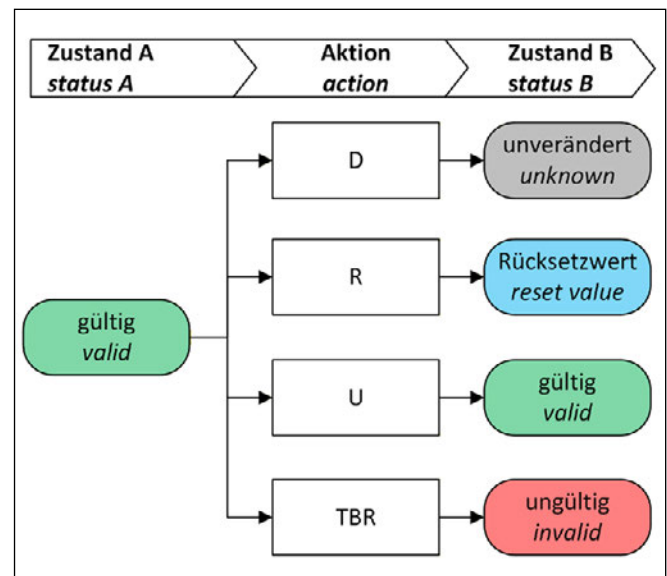


Bild 3: Änderung des Status der Information „gültige Zugposition“

Fig. 3: A change of data status for a valid train position

Quelle / Source: J. Simón-Muñoz

siding before executing an SoM. In this case, any eventual valid position reported by the vehicle will not be updated to the actual new position [8]. Thus, the onboard equipment merely reporting a valid position is not a sufficient condition. This means, that the train's position must be both valid and unambiguous, so that the RBC can send an MA in Full Supervision (FS) mode along the free track.

According to the functional definition, a Trusted Areas (TA) corresponds to a section of the main track that is delimited by both its main signals on each side. Based on the topological definition, a TA is the track section between the balise groups (BGs) of both the aforementioned main signals. Two fundamental, distinct approaches to handling the ambiguity of a train position have been identified among the analysed IMs:

- Without defining any TA, based on the assumption that any train about to perform an SoM has an ambiguous position. Once the route has been set and locked, the train advances in On Sight (OS) or Staff Responsible (SR) mode at a limited speed. After a short time, the vehicle's antenna reads the first BG on the main track, which then becomes the Last Relevant Balise Group (LRBG) and reports an unambiguous position (e.g. „TAF(OS) > FS“ at Schweizerische Bundesbahnen AG (SBB), fig. 2c). If the LRBG is slightly behind the main signal, it will receive an MA FS before approaching the starter signal. Alternately, if this fails or the train is in front of the last Type T BG before the starter signal, the position report can first be sent at the BG by the main signal. In this case, however, the process is delayed by one signal section and the vehicle would receive an MA FS behind the first block signal on the free track (e.g. „2xOS“ at SBB, fig. 2c). This requires the train to advance along the switches in OS or SR mode until the next main signal. This variant is employed by the SBB and on some Správa železnic (CZ) lines (fig. 2d).
- With defined TAs. A position report sent by a train located within a TA can be considered unambiguous and therefore reliable, when the vehicle's LRBG is one of the balises at the main signal or any other balise located within the TA. The passive shunting of the vehicle into a TA is not covered, so an SoM procedure for the fallback must be projected. Trains

ten die ersten RBC keine Informationen über die Gleisfreimeldung und waren daher nicht in der Lage, das Vorhandensein eines Fahrzeugs zwischen dem vorderen Ende des Zuges, der gerade einen SoM ausführt, und dem begrenzenden Signal festzustellen. Dieser Sachverhalt wird von den EIU mithilfe der Funktionalitäten Track Ahead Free (TAF), Automatic Track Ahead Free (ATAF) [9] oder einigen Varianten der ATAF-Funktion. Sie prüfen diese Bedingung, und wenn sie erfüllt ist, besteht die Möglichkeit, dass das ETCS-System diese Aufgabe übernimmt durch die Übertragung einer MA FS.

Eine TAF-Anforderung ist eine Nachricht, die vom RBC an das Fahrzeug gesendet wird, wenn ein Zug ein SoM ausführt. Diese erscheint auf der Führerraumanzeige (Driver Machine Interface, DMI) innerhalb des TAF-Fensters, einem definierten Bereich einige hundert Meter vor dem jeweiligen Hauptsignal. Der Triebfahrzeugführer (Tf) wird angewiesen, visuell zu prüfen und zu bestätigen, dass der vorausliegende Gleisabschnitt frei ist [9].

Damit der Tf von einer Stelle auf dem Hauptgleis bis zu diesem Bereich vorfahren kann, wird entweder eine MA im Modus OS ausgegeben oder es erfolgt die Weiterfahrt im Modus SR; in der Regel mit einer begrenzten Geschwindigkeit von 40 km/h [4]. Beide Alternativen ermöglichen es dem Zug auch, weiterzufahren und eine BG zu lesen, wodurch bei Implementierungen ohne TA eine gültige und eindeutige Position gemeldet wird. Ein wesentlicher Nachteil dieses manuellen Verfahrens besteht darin, dass es den menschlichen Faktor einbezieht. Tf sind besonders darin geschult, schnell auf Anforderungen wie die Wachsamkeitstaste und Quittierungsfenster bei Transitionen zu reagieren [10]. Dies birgt die Gefahr einer zu schnellen Annahme einer TAF-Anfrage, ohne dass zuvor die Räumung des Gleisabschnitts gründlich überprüft wird. Diese Funktion wird von der ÖBB-Infrastruktur (in Verbindung mit TA), den SBB (ohne TA) und Správa železnic eingesetzt.

Als Alternative zu TAF entbindet ATAF den Tf von der visuellen Bestätigung, dass der vorausliegende Gleisabschnitt frei ist, wodurch das Risiko einer falschen TAF-Bestätigung aufgrund des Routineverhaltens des Tf beseitigt wird [9]. Diese Aufgabe wird somit durch die streckenseitigen Systeme übernommen. Bei dieser Methode wird die gemeldete Position des Zuges mit einer Änderung des Belegungsstatus eines zuvor unbesetzten Gleisfreimeldeabschnitts in Verbindung gebracht. Wenn beides innerhalb eines kurzen Zeitfensters geschieht, kann sichergestellt werden, dass der Zug, mit dem das RBC kommuniziert, derjenige ist, der die Belegung des Gleisfreimeldeabschnitts verursacht hat. Dies ermöglicht es dem RBC, eine MA FS zu erteilen [10]. Die Umsetzung dieser Funktion erfordert eine sorgfältige Abwägung der verschiedenen Faktoren, Entfernungen und Risiken, wie in [9] beschrieben. Die DB InfraGO hat eine automatische Funktion entwickelt, die den menschlichen Faktor eliminiert, aber vom ATAF abweicht.

2.2 Rangieren auf Haupt- und Nebengleisen

Das Szenario „Rangieren auf Haupt- und Nebengleisen“ hängt stark von der SoM-Implementierung ab. Das Subset-113 [6] beschreibt drei gefährliche Situationen, die beim Rangieren in Verbindung mit der gemeldeten Position auftreten können.

Auf TA basierende Implementierungen installieren BG des Typs M im Weichenbereich. Sobald eine dieser BG zu einer LRBG für ein rangierendes Fahrzeug wird, weiß das RBC, dass sich das Fahrzeug außerhalb einer TA befindet, sodass die Ausführung eines regulären SoM technisch unmöglich ist. Bei Sicherheitsphilosophien mit langen Durchrutschwegen besteht das Risiko, dass sich ein Fahrzeug auf diesem Gleisabschnitt außerhalb der TA und weit entfernt von diesen BG befinden könnte.

advance in OS mode at ÖBB-Infrastruktur (Österreichische Bundesbahnen, ÖBB) (fig. 2a), while at DB InfraGO (fig. 2b) they can obtain an MA FS when in standstill. Other IMs, such as Banedanmark (DK) and SNCF Réseau (FR) also project TAs.

In the medium term, the trackside equipment associated with the current TA concept could become superfluous or obsolete in the midterm, once all the vehicles have been equipped with CMD sensors.

2.1.3 Track ahead clearance between the front of the train and the starter signal

The third condition relates to trackside. Track detection systems (track circuits or axle counters, depending on the IM) provide information regarding the occupation status of a track section, which typically extends along a main track. Furthermore, most implementations ensure that the RBCs receive limited information, such as signal indications and switch positions, but not from the track detection systems. Track detection systems are employed by the interlocking to check a route's occupation status and all the necessary flank protections. Nevertheless, the RBC may not be capable of deducing the presence of a vehicle between the front end of a train about to execute an SoM and the starter signal (ETCS Stop Marker) since the track is already occupied by the starting vehicle. IMs handle this issue by using the Track Ahead Free (TAF) and Automatic Track Ahead Free (ATAF) functionalities [9] or some variant of the ATAF function. These functions check whether this condition has been met. If so, the ETCS system can fully supervise the train movement by sending an MA FS.

A TAF request is a message sent by the RBC to the ETCS on-board equipment when a train is executing an SoM. It issues a prompt on the Driver Machine Interface (DMI) within the TAF-window, a distance of a few hundred metres to the rear of the main signal established by every IM. The driver is instructed to visually acknowledge and confirm the clearance of the track section ahead [9].

In order to allow the train driver to advance from a point on the main track to this area, either an MA is issued in OS mode or the train continues advancing in SR mode, usually at a restricted speed of 40 km/h [4]. Both options enable the train to proceed and read a BG, thereby reporting a valid and unambiguous position for any implementations without TAs. The main disadvantage of this manual procedure is that it involves the human factor. Train drivers are particularly trained to respond expeditiously to requests such as the vigilance button and acknowledgement windows during transitions [10]. This practice has the potential to expedite the acceptance of a TAF request without first effectively verifying the clearance of the track section. This function is deployed by ÖBB-Infrastruktur (in conjunction with TAs), SBB (without TAs) and Správa železnic.

As an alternative to TAF, ATAF relieves the driver of visually acknowledging the track section ahead, thereby eliminating the risk of an incorrect TAF acknowledgement due to the driver's routine behaviour [9]. Responsibility is therefore shifted to the trackside systems. This method correlates the train's reported position with a change in the occupied status of a previously unoccupied train detection section. It can be assured that the train with which the RBC is communicating is the one that has caused the train detection section to become occupied provided both actions occur within a brief time window of each other. This enables the RBC to issue an

Umgekehrt müssen Implementierungen ohne TA die im Subset-113 beschriebenen Gefahrensituationen nicht berücksichtigen, da dieser Ansatz auf der Prämisse beruht, dass ein Zug vor einer SoM, einschließlich Rangierfahrten, keine eindeutige Position hat. Rangierfahrten liegen daher in der alleinigen Verantwortung des Stellwerks. Infolgedessen wird die Anzahl der Balisen deutlich verringert. Bei allen Implementierungen wird der Zugang zu dem mit ETCS ausgerüsteten Bereich, der der Grenze des RBC-Streckenatlas entspricht, mit BG des Typs B2 abgegrenzt. In einigen Ländern übermitteln sie die nationalen Werte. Anders als andere Infrastrukturbetreiber installiert die DB InfraGO eine redundante Balisengruppe, da die Linkinginformation in der Betriebsart Shunting (SH) nicht ausgewertet wird (Bild 2b).

3 Überblick über die nationalen Implementierungen

Die Unterschiede zwischen den nationalen Umsetzungen dieses ETCS-Verfahrens lassen sich nach den fahrzeugseitigen und streckenseitigen Bedingungen kategorisieren, wie in Tab. 2 dargestellt. Diese Tab. veranschaulicht auch die Vor- und Nachteile der einzelnen Implementierungen, insbesondere im Hinblick auf das Vorhandensein oder das Fehlen von TA.

Die Rückfallebene ist ein wichtiger Aspekt, der im SoM-Verfahren zu berücksichtigen ist. Die meisten Infrastrukturbetreiber erteilen einen schriftlichen Befehl, nachdem der Tf im Modus SR ohne technische Unterstützung weiterfahren darf. Allerdings besteht insbesondere bei ETCS L2-Implementierungen ohne Lichtsignale die Gefahr, dass der schriftliche Befehl an den falschen Zug gegeben wird, für den keine Fahrstraße eingestellt wurde. Dennoch verfolgen einige EIU einen technischen Ansatz zur Absicherung dieses Verfahrens.

Die DB InfraGO verwendet eine auf nationaler Ebene entwickelte Funktion „SR-Autorisierung mit Balisenliste“, die die in der ERTMS-Users Group Richtlinie beschriebene Empfehlung für die Verringerung von Gefahrensituationen umsetzt [3]. In der Rückfallebene sendet das RBC eine „SR-Autorisierung“ mit einer Balisenliste an den Zug, basierend auf den in der Zugnummernmeldeanlage (ZN-Anlage) verfügbaren Informationen, die die Zugnummer und die Gleisnummer

		streckenseitig	
		manuell (TAF)	automatisch (ATAF o. Ä.)
fahrzeugseitig	ohne Definition von TA	SBB Správa železnic	N/A
		+ geringere Anzahl an Balisen + geringere Planungskomplexität + SoM auf der Rückfallebene ähnlich zu der Standard-SoM-Prozedur + Überwachung von Rangierbewegungen durch ETCS nicht notwendig – menschlicher Faktor stark involviert – MA FS im Stillstand nicht möglich – in bestimmten Situationen Aufstartgeschwindigkeit durch Betriebsarten OS o. SR begrenzt → längere Fahrstraßenbelegungszeiten – Ausfahrten außerhalb einer TA (Hauptgleis) technisch möglich o TAF-Funktion zusammen mit den Betriebsarten OS o. SR konsequent	
	mit Definition von TA	ÖBB-Infrastruktur	DB InfraGO
		+ menschlicher Faktor → besonders bei ATAF o. Ä. + TA + MA FS im Stillstand möglich → ATAF o. Ä. + TA + in bestimmten Situationen Aufstartgeschwindigkeit nur durch max. Geschwindigkeit der Fahrstraße → kürzere Fahrstraßenbelegungszeiten + Risiken i. V. m. Rangierbewegungen technisch minimiert + reguläres Aufstarten außerhalb einer TA (Hauptgleis) technisch unmöglich – größere Anzahl an Balisen erforderlich – höhere Planungskomplexität – Berücksichtigung von Szenarien an TA-Grenzen o Investition für ATAF sinnvoll → menschlicher Faktor begrenzt	

Tab. 2: Vor- und Nachteile der nationalen ETCS L2-Umsetzung entsprechend den fahrzeug- und streckenseitigen Funktionen

MA FS [10]. Implementing this function requires careful consideration of the various factors, distances and risks involved, as described in [9]. DB InfraGO has developed an automatic function that eliminates the human factor, but diverges from ATAF.

2.2 Shunting on main tracks and sidings

The “Shunting on main tracks and sidings” scenario strongly depends on the SoM implementation. Subset-113 [6] describes three hazardous situations related to the reported position that can occur when shunting.

Implementations based on TAs install Type M BGs in railway throats or interlocking areas. Once one of these BGs becomes a LRBG for a shunting vehicle, then the RBC knows that the vehicle is located outside a TA, meaning that the execution of a regular SoM is technically impossible. National philosophies with long overlaps present a risk that a vehicle could perform an SoM on this section outside the TA and far from these BGs.

Conversely, implementations without any TAs do not need to consider the hazardous situations described in Subset-113, as this approach is based on the premise that a train cannot have an unambiguous position prior to an SoM, including any shunting movements. Shunting movements therefore fall under the sole responsibility of the interlocking. Consequently, the number of balises is notably reduced.

In all the implementations, the access to an ETCS-equipped area corresponding to the border of the RBC route map is delimited with Type B2 BGs. In some countries, they transmit the national values. In addition to other IMs, DB InfraGO also installs a redundant balise, as the linking information is not processed in Shunting (SH) mode (fig. 2b).

3 An overview of the national implementations

The differences between the national implementations of this ETCS procedure can be categorised according to the onboard

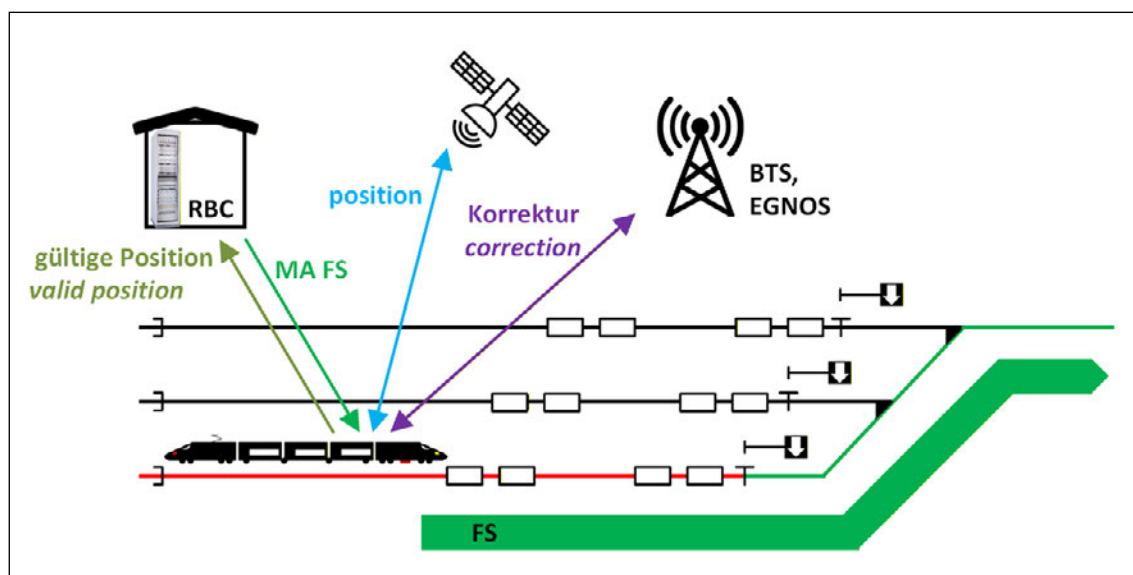
		trackside	
		manual (TAF)	automatic (ATAF or similar)
onboard	without definition of TA	SBB Správa železnic	N/A
		+ lesser number of balises + lower planing complexity + fallback SoM procedure similar to standard SoM + no need to supervise shunting movements by ETCS – human factor strongly involved – MA FS at standstill not possible – starting speed restricted by modes OS (SBB) or SR (Správa železnic) in some situations → larger route occupation times – SoM outside TA (outside main tracks) technically possible o TAF function in conjunction with mode OS or SR consequent	
	with definition of TA	ÖBB-Infrastruktur	DB InfraGO
		+ limited human factor involved → especially ATAF or similar + TA + MA FS at standstill possible → ATAF or similar + TA + starting speed limited only by track speed in some situations → shorter route occupation times + hazards associated to shunting technically mitigated (Subset-113) + regular SoM outside TA (outside main tracks) technically not possible – greater number of balises required – higher planning complexity – scenarios at TA borders must be considered o ATAF investment fully meaningful → reduction of the human factor	

Tab. 2: Advantages and disadvantages of ETCS L2 national implementations according to the adopted onboard and trackside functions Quelle / Source: [4]

**Bild 4: „Smart SR“-
Konzept entwickelt
von ANSFISA**

Fig. 4: „Smart SR“
concept developed by
ANSFISA

Quelle / Source: [12]



umfassen. Diese Funktion basiert auf einer zusätzlichen Schnittstelle zwischen dem RBC und der ZN-Anlage.

Die DB InfraGO implementiert dies standardmäßig auf allen Hauptgleisen, auf denen Züge SoM ausführen können. Diese Funktion hat zudem das Ziel, das Erteilen von schriftlichen Befehlen für SoM zu vermeiden. Einige Infrastrukturbetreiber planen den Einsatz dieses Systems, allerdings nur in sehr begrenztem Umfang, in der Regel in Bahnhöfen mit vielen Gleisen für den Personenverkehr, wo die oben genannten Risiken größer sind.

Die Balisenliste ist eine technische Maßnahme, die verhindert, dass die „SR-Autorisierung“ an den falschen Zug gesendet wird. Es besteht das Risiko, dass der Fahrdienstleiter das Gleis des aufstartenden Zuges verwechselt und der Tf die DMI-Meldung und Signalbezeichnung übersieht. Der Zug fährt im SR-Modus auf dem Hauptgleis und liest die nächste folgende BG. Das Fahrzeuggerät vergleicht diese mit der empfangenen Balisenliste. Wenn eine gelesene BG nicht mit der erwarteten BG aus der Balisenliste übereinstimmt, führt der Zug eine Zwangsbremung aus. Die große Anzahl von Balisen stellt sicher, dass jede Art von Zug, der von einem beliebigen Punkt auf dem Hauptgleis startet, vor dem ETCS-Gefahrpunkt zum Stillstand gebracht werden kann. Sie dienen auch dazu, dem RBC so schnell wie möglich eine eindeutige Position zu melden, damit der Zug schnell eine MA in FS erhalten kann. Außerdem können die technischen Grenzen der Spezifikation in Bezug auf die maximale Anzahl von 15 Balisen-ID in einer Balisenliste schnell erreicht werden [11].

Mehrere satellitengestützte Lösungen für die Fahrzeugortung werden seit mindestens 25 Jahren vorgeschlagen, wie aus zahlreichen Veröffentlichungen hervorgeht. Die italienische Eisenbahnbehörde ANSFISA entwickelt eine Variante namens „smart SR“. Dieses Konzept ist in Bild 4 dargestellt. Ein Zug ohne gültige und eindeutige Position im Stillstand wird mithilfe eines Echtzeit-Kinematiksystems geortet, das auf einem hochpräzisen satellitengestützten globalen Navigationssatellitensystem (Global Navigation Satellite System, GNSS) wie EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) basiert. Sie bieten eine Genauigkeit von wenigen Zentimetern in Echtzeit [12, 13]. Auch seitens der DB InfraGO AG wurde in Zusammenarbeit mit mehreren Partnern im Rahmen des Entwicklungsprojektes CLUG (Certifiable Localisation Unit with GNSS) an einer auf GNSS basierenden Lösung für die Fahrzeugortung gearbeitet [14]. Dieser Ansatz könnte zukünftig eine wirksame Lösung sein, um die Anzahl der Balisen zu reduzieren.

and trackside conditions shown in tab. 2. This table also illustrates the advantages and disadvantages of each implementation, particularly with regard to the presence or absence of TAs.

The fallback is an important aspect to consider in the SoM procedure. Most IMs issue a written order, after which the train driver is permitted to proceed in SR mode without any technical supporting system in place. However, there is a risk, especially in ETCS L2 implementations without any lineside signals, that this written instruction could be given to the wrong train without a set route. Nevertheless, some IMs pursue a technical approach to secure this procedure.

DB InfraGO employs a nationally developed “SR authorisation with balise list” function that implements the recommendation for mitigating hazardous scenarios stated in the ERTMS Users Group guideline [3]. The RBC sends the train an “SR authorisation” with a balise list based on the information available in the Track Number Reporting System (TNRS) comprising the train number and the track number in the fallback. This function is based on an additional interface between the RBC and the TNRS. The DB InfraGO implements this as a standard basis on all the main tracks where trains can execute an SoM. Furthermore, this function has the objective of avoiding the issuance of a written order for the SoM. Some IMs plan to employ this system to a very limited extent, usually in stations with many passenger tracks, where the aforementioned risks are greater.

The balise list is a technical measure that prevents the “SR authorisation” from being sent to the wrong train. There is a risk that a dispatcher will confuse the track of the departing train for another and that the train conductor will overlook the DMI message and signal designation. The train advances along the main track in SR mode until it reads the next BG. The onboard equipment compares this with the received balise list. If the read balise does not match the expected balise, the train is subjected to train trip. The large number of balises ensures that any type of train starting from any point on the main track can be brought to a halt before the ETCS danger point. The balises also serve in reporting an unambiguous position to the RBC as soon as possible so that the train can receive an MA FS more rapidly. Furthermore, the technical

4 Fazit und Ausblick

Obwohl es sich bei ETCS um ein europäisch standardisiertes Zugbeeinflussungssystem handelt, unterscheiden sich die einzelnen nationalen Implementierungen erheblich voneinander. Dies wird exemplarisch bei dem Betriebsszenario SoM deutlich. Durch den technologischen Fortschritt mit Systemen wie CMD oder satellitengestützter Fahrzeugortung ist zukünftig eine deutlich geringere Anzahl an erforderlichen Balisen denkbar. Im Rahmen von weiterführenden Forschungsarbeiten an der TU Dresden werden derzeit die Möglichkeiten zur Harmonisierung von ETCS in Europa sowie zur Vereinfachung konkret in Deutschland untersucht. ■

LITERATUR | LITERATURE

- [1] Lancien, D.; Garelli, P.: „Towards a New Concept in Railway Command & Control: From ASTREE to ETCS“. IFAC Transportation Systems, 1994
- [2] European Union Agency for Railways (ERA): „ERTMS/ETCS Subset-026. System Requirements Specification. Chapters 3, Principles, 4, Modes and Transitions, and 5, Procedures“. Issue 4.0.0, 2023
- [3] ERTMS Users Group: „Engineering Guideline Nr. 68. Start of Mission in L2 & L3 (B3)“. V3-, 2024
- [4] Simón-Muzás, J.: „Deployment of ETCS Positioning Balises in different Countries“. Master's Thesis, TU Dresden, 2025. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-1008537>
- [5] Pacht, J.: „Besonderheiten ausländischer Eisenbahnbetriebsverfahren“. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019
- [6] European Union Agency for Railways (ERA): „ERTMS/ETCS Subset-113. ETCS Hazard Log“. Issue 1.5.0, 2022
- [7] European Commission: „Commission Implementing Regulation (EU) 2023/1695 of 10 August 2023 on the technical specification for interoperability relating to the control-command and signalling subsystems of the rail system in the European Union and repealing Regulation (EU) 2016/919“. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2023/1695/oj, Accessed: 30/01/2026
- [8] Alexander, J.: „ETCS Bites Back – 34 (Chapter 5 - SoM - Part 1)“. 24/07/2023. <https://www.youtube.com/watch?v=hZca7yMxb-Y>, Accessed: 29/01/2026
- [9] ERTMS Users Group: „Engineering Guideline Nr. 69. Automatic Track Ahead Free (B3)“. V4-, 2024
- [10] Alexander, J.: „ETCS Bites Back – 46 (Track Ahead Free and ATAF)“. 05/04/2024. <https://www.youtube.com/watch?v=2idAwFYufW0>, Accessed: 30/01/2026
- [11] European Union Agency for Railways (ERA): „ERTMS/ETCS Subset-040. Dimensioning and Engineering rules“. Issue 3.4.0, 2015
- [12] Tabarrini, A.: „Start of Mission in ERTMS Area: Issues and Possible Solutions“. Agenzia nazionale per la sicurezza delle ferrovie e delle infrastrutture stradali e autostradali (ANSFISA). 13th ERA Budapest Workshop to European Union Agency for Railways (ERA), 16/10/2025
- [13] A. Tabarrini to Juan Simón-Muzás, E-Mail: „Start of Mission: Questions and a Request. Juan Simón-Muzás – TU Dresden“. Answer received on the 10/11/2025
- [14] Deutsche Bahn AG: „Lokalisierung von Zügen auf Basis von Satellitennavigation: die Projekte CLUG und CLUG 2.0“. <https://digitale-schiene-deutschland.de/de/projekte/CLUG#tab-Projektbeschreibung>

limits of the specification relating to the maximum number of balises can be easily reached on a main track, as the maximum number of balise IDs permitted in a “balise list” is 15 [11]. Several satellite-based solutions have been suggested for at least 25 years, as many publications from that time reveal. The Italian ANSFISA railway authority is developing a variant called “Smart SR”. This concept is illustrated in fig. 4. A train at a standstill without a valid and unambiguous position is located using a Real Time Kinematics (RTK) system based on high-precision Global Navigation Satellite System (GNSS) satellite positioning, such as EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service). These solutions offer a centimetre-level degree of accuracy in real time [12, 13]. The DB InfraGO AG has also been working, in collaboration with several partners as part of the CLUG (Certifiable Localisation Unit with GNSS) development project, on a GNSS-based solution for vehicle tracking [14]. This approach could constitute an effective solution to reducing the number of balises in the future.

4 Conclusions

Although ETCS is a European standardised train control system, the individual national implementations differ considerably from one another. This is particularly evident in the SoM operating scenario, amongst others. Technological advances with systems such as CMD or satellite-based vehicle location make it conceivable that significantly fewer balises will be required in the future. The possibilities for harmonising ETCS in Europe and simplifying it specifically in Germany are currently being investigated as part of further research work at TU Dresden. ■

AUTOREN | AUTHORS

Juan Simón-Muzás, M. Sc.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter / Research Assistant
TU Dresden
Anschrift / Address: Hettnerstraße 3, D-01062 Dresden
E-Mail: juan.simon_muzas@tu-dresden.de

Dipl.-Ing. Julia Kalkreiber
Technical Lead Digitale Planung / Technical Lead Digital design
DB InfraGO AG
Anschrift / Address: Schweizer Straße 3b, D-01069 Dresden
E-Mail: julia.kalkreiber@deutschebahn.com