ETCS L1 – Eine optimierte ETCS-Architektur für Regionalstrecken

ETCS L1 – an optimised ETCS architecture for regional lines

Peter Laumen | Tim Kipshagen | Prof. Dr.-Ing. Nils Nießen

Das europäische Zugbeeinflussungssystem ETCS (European Train Control System) wird aktuell auf den Hauptstrecken (insbesondere den TEN-Korridoren) eingeführt. Auf Neben- und Regionalstrecken kommt ETCS jedoch bisher üblicherweise nicht zur Anwendung. Einige Länder erwarten zukünftig günstige ETCS-Lösungen für diese Streckenarten. Durch die Digitalisierung und die daraus resultierenden ESTW bzw. digitalen Stellwerke (DSTW) kann die bisherige ETCS-Architektur optimiert werden. Mit den Möglichkeiten der DSTW, Telegramme zur Laufzeit im Stellwerk zu generieren und über Balisen an den Zug zu übertragen, kann eine ETCS Level 1 Full Supervision (L1 FS)-Strecke dynamisch gestaltet werden und dadurch einen Mehrwert generieren. Es ergeben sich wesentliche betriebliche Vorteile u. a. bei Langsamfahrstellen, der Blockteilung, der fahrstraßenabhängigen Informationsübertragung, der Integration von Bahnübergängen sowie beim Rangieren unter ETCS.

1 Ausgangslage

Das Zugbeeinflussungssystem ETCS wird bei vielen europäischen Bahnen eingeführt. Zunächst werden hauptsächlich internationale Strecken (TEN-Korridore) und Hauptstrecken ausgerüstet. Für Regional- und Nebenstrecken erwarten einige Länder in Zukunft günstige ETCS-Lösungen [1]. Diese sollen teilweise auf ETCS L3 basieren und mittels Satellitenortung die Gleisfreimeldung realisieren [2]. In diesem Fall muss die Strecke somit über die notwendige Leit- und Sicherungstechnik verfügen, zusätzlich über ein Funksystem (z. B. GSM-R) sowie über eine ausreichende Abdeckung eines satellitenbasierten Ortungssystems. Somit sind insgesamt drei Infrastrukturen für die Zugsicherungstechnik notwendig, um den Verkehr abzuwickeln. Im Rahmen der ETCS-Einführung werden verschiedene Verbesserungen angedacht. So wird in [3] ein „ETCS Level 3 Hybrid" beschrieben. In dem vorliegenden Beitrag wird als Alternative eine günstige und einfache Lösung vorgestellt, welche unabhängig von einem Funksystem ist und zur Zugortung und Gleisfreimeldung kein satellitenbasiertes Ortungssystem benötigt. In [4, 5 und 6] wurde gezeigt, dass die Performance von ETCS L1 FS mit einer entsprechenden Anzahl von Infill-Balisen und fahrstraßenabhängigen Telegrammen die Leistungsfähigkeit von ETCS L2 erreichen kann. Aus diesem Grund soll bei der hier vorgestellten ETCS-Lösung der L1 im Modus FS angewendet werden. Optimierungsmöglichkeiten an ETCS L1 werden schon in [7] erläutert. Der hier erläuterte Ansatz geht jedoch darüber hinaus.
In der optimierten Lösung werden ETCS L1 und die Sicherungslogik in einer Architektur vereint. Die ETCS-Telegramme werden in der Sicherungslogik des Stellwerks generiert und über eine Bus-Schnittstelle direkt an die Balise gesendet. Somit wird der Modus

The European Train Control System (ETCS) is currently being introduced on main lines, in particular in the TEN corridors. ETCS has not yet been regularly implemented on regional and secondary lines, but some countries are awaiting inexpensive future ETCS solutions for these lines. The use of new digital technologies and the resulting digital interlocking makes it possible to optimise the existing ETCS architecture. In addition to the possibility of generating ETCS telegrams in the digital interlocking (DI) at runtime, ETCS Level 1 (L1) lines can also be designed dynamically, which results in additional benefits. There are significant operating advantages with regard to speed restrictions, block sections, the transmission of route specific information, the integration of level crossings and shunting under ETCS, for example.

1 Introduction

The ETCS train control system is currently being introduced by a number of European railway infrastructure managers. Initially, international lines (the TEN corridors) and main lines are being equipped. However, some countries are also awaiting future low cost ETCS solutions for regional and secondary lines [1]. These solutions should be based on ETCS L3 and train detection via satellite-based location [2]. In this case, the track needs to be equipped with the necessary signalling infrastructure as well as an additional radio communication network and adequate coverage by satellite-based positioning systems. Therefore, three independent infrastructures are necessary. Various improvements have been envisaged during the implementation of ETCS. A so called "ETCS Level 3 Hybrid" has been outlined in [3]. In contrast to Level 3 activities, this article introduces a simple and low-cost ETCS L1 solution, which is independent of radio communication and a satellite system for train detection and positioning. As shown in [4, 5 and 6], the performance of ETCS L1 FS can achieve the capacities of ETCS L2 given the use of the appropriate number of balises and route-specific telegrams. Ideas on improving ETCS L1 have also been presented in [7]. However, the ETCS L1 architecture presented here goes even further.
The new solution combines ETCS L1 and the interlocking logic into a single architecture. The ETCS telegrams are generated within the interlocking logic and transmitted directly to the balise via a Bus interface. Therefore, the L1 FS mode is clearly more flexible, as the depth of information significantly increases. The balise locations are not linked to the signal locations, but can be placed in locations which are meaningful for operational reasons. The idea of a centralised LEU (Lineside Electronic Unit) is not new [8], but it has not been considered within the context of a digital interlocking system. An essential advantage of this involves the fact that nei-

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für RWTH Aachen / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group GmbH 2020

ETCS L1 FS deutlich flexibler gestaltet, da die Informationstiefe zur Generierung der ETCS-Telegramme größer wird. Die Standorte der Balisen sind nicht an die Standorte der Signale gekoppelt, sondern können an betrieblich sinnvollen Positionen installiert werden. Diese Idee der zentral gesteuerten Balise ist nicht neu [8], wurde bisher jedoch nicht im Kontext einer digitalen Stellwerkstechnik durchdacht. Der wesentliche Vorteil besteht darin, dass auf eine Funkinfrastruktur verzichtet werden kann und auch keine satellitenbasierte Ortung notwendig ist und somit Investitionen in diese Infrastrukturen nicht anfallen. Dies stellt insbesondere für Regional- und Nebenstrecken eine günstige Lösung dar, welche die Wirtschaftlichkeit deutlich erhöht.
Eine mögliche Anwendung der hier vorgestellten Architektur wird zukünftig in Luxemburg umgesetzt. In [9] werden die betrieblichen Aspekte der „Luxemburger-Lösung" beschrieben. Dieser Beitrag beschreibt und erläutert darüber hinaus die Möglichkeiten von ETCS L1 in einer dynamischen Anwendung.

2 Grundlagen

Zunächst werden die wesentlichen Eigenschaften und die bisherige Umsetzung von ETCS L1 sowie die Architektur des DSTW vorgestellt.

2.1 European Train Control System (ETCS)

ETCS ist das europäische Zugbeeinflussungssystem. Es kann in unterschiedlichen Leveln angewendet werden, sodass verschiedene Anwendungsfälle von punktförmiger Übertragung zu linienförmiger Übertragung abgedeckt werden. Neben den Leveln gibt es auch noch verschiedene Modi, in denen ein Zug operieren kann, beispielsweise Full Supervision (FS), Limited Supervision (LS) oder Shunting (SH).
Die beiden wesentlichen Modi in ETCS L1 zur Durchführung von Zugfahrten sind FS und LS. Der Modus LS wurde mit Baseline 3 eingeführt, um eine einfachere Adaption an die bisherige Stellwerkstechnik zu realisieren. Die Übertragung erfolgt punktförmig an den Signalstandorten und es wird nur eine Bremskurve vor einem Halt zeigenden Signal überwacht. Die Überwachung erfolgt im Hintergrund und der Triebfahrzeugführer (Tf) muss die ortsfesten Signale beachten.
Der Modus FS hingegen bietet eine kontinuierliche Überwachung der gesamten Zugfahrt. Ortsfeste Signale werden nicht benötigt, da aufgrund der Überwachung eine Führerstandssignalisierung möglich ist. Das Geschwindigkeitsprofil der Strecke und die Neigungswechsel werden ausgewertet, um Bremskurven dynamisch zu berechnen. Ebenso werden auch Langsamfahrstellen überwacht. Die Datenübertragung von Strecke zum Zug erfolgt dabei punktuell über Balisen. Schaltbare Balisen werden üblicherweise an Signalen angeschlossen und das Telegramm in Abhängigkeit der Signalstellung (z. B. Auswerten der Lampenströme) ausgewählt.
ETCS L2 wird nur im Modus FS angewendet. Die Datenübertragung zwischen Stellwerk und Zug wird über GSM-R abgewickelt. Es besteht die Möglichkeit, kontinuierlich Informationen auszutauschen, d. h. sobald eine Änderung der Signalstellung erfolgt, wird dem Zug die neue Movement Authority (MA) mitgeteilt. Das Überfahren einer Balise ist somit in diesen Fällen nicht notwendig: Als Resultat kann der Zug dann eher beschleunigen und es ergibt sich ein Fahrzeit- und Kapazitätsgewinn.

2.2 ETCS L1-Projektierung

Die Projektierung von ETCS L1 ist an die Signalstandorte angelehnt. Die möglichen Telegramme werden für jeden Signalstandort

ther a radio communication system nor a satellite-based location system is needed, which means that no investment in those infrastructures is necessary. This is a low-price solution, especially for regional and secondary lines, which increases profitability.
A potential application for the presented architecture will be implemented in Luxembourg in the future. The operating aspects of the "Luxembourg-Solution" have been explained in [9]. Furthermore, this article describes the possibilities of ETCS L1 in a dynamic application.

2 The basic principles

The fundamental features and the present implementation of ETCS L1, as well as the architecture of the digital interlocking, are described first.

2.1 The European Train Control System (ETCS)

ETCS is the European Train Control System. It can be applied in various levels, so that different applications from punctiform to continuous information transmission and supervision can be covered. In addition to the levels, there are also different kinds of train operation modes, i. e. Full Supervision (FS), Limited Supervision (LS) or Shunting (SH).
FS and LS are the most relevant modes for running trains. LS was introduced in Baseline 3 in order to provide a simpler solution for the integration of ETCS into existing interlocking systems. The punctiform transmission of information takes place at the signal locations. Only the braking curve is supervised in the case of signals showing "stop". ETCS only provides background surveillance, so the driver has to observe the lineside signals.
By contrast, the FS mode provides full and continuous surveillance throughout the train's entire journey. Lineside signals are not needed due to the cab signalling. The track's speed profile and the track gradient are evaluated and the braking curves are calculated dynamically on the train. Furthermore, any temporary speed restrictions are also monitored. The punctiform data transmission takes place via the balises. Transparent balises with switchable telegrams are usually connected to lineside signals, where the telegram can be chosen based on the signal lamp current.
ETCS L2 is only operated in the FS mode. The data transmission is performed continuously via the GSM-R radio network. As such, information can be transmitted continuously, i. e. a Movement Authority (MA) can be given directly after the signal changes to "proceed / approach". Passing over a balise is therefore no longer necessary in this case. As a result, the train is able to accelerate earlier which results in shorter driving times and higher capacities.

2.2 ETCS L1 – Project planning

ETCS L1 project planning is based on the lineside signal locations. The possible telegrams are predefined for every signal and the correct telegram is selected by the LEU based on the signal lamp current. The definition of the telegrams depends on the signal position, not on the selected train route or any other information. At the same time, the mode is also not relevant. The balise positions are connected to the appropriate signal locations. In addition to the balises connected to the LEU at the main signals, there can also be further so-called infill balises which are also connected to the LEU by a cable. The start and end of a MA are determined by the position of the balises. The telegrams are programmed into the LEU. It is not possible to make any changes in the interlocking due to the non-existent data connection between the LEU and the interlocking.

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für RWTH Aachen / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group GmbH 2020

projektiert, die Auswahl des zu übertragenden Telegramms erfolgt in der Lineside Electronic Unit (LEU) anhand der Signallampenströme. Die Projektierung der Telegramme ist somit abhängig vom Signalbegriff und nicht von der Fahrstraße oder weiteren Informationen. Dabei ist es zunächst irrelevant, ob der Modus LS oder FS zur Anwendung kommt. Der Standort einer Balise ist folglich mit dem Standort des zugehörigen Signals verbunden. Zusätzlich zu den Balisen, welche unmittelbar an den Signalen platziert werden, können im Abstand von einigen hundert Metern weitere Infill-Balisen vorhanden sein, welche ebenfalls per Kabel an die LEU angeschlossen sind. Beginn und Ende einer MA sind somit durch die Lage der Balisen vorgegeben. Die Telegramme werden in der LEU einprogrammiert, Änderungen können nur vor Ort vorgenommen werden. Eine Änderung im Stellwerk ist aufgrund der fehlenden Datenverbindung zur LEU, bzw. zum Signal, nicht möglich.

2.3 Das digitale Stellwerk

Das neue digitale Stellwerk (DSTW) ist prinzipiell ein ESTW mit standardisierten Schnittstellen. Die Feldelemente werden über ein Bus-System angeschlossen. Der Datenaustausch erfolgt über standardisierte Protokolle, sodass die angeschlossenen Komponenten austauschbar sind und nicht an proprietären Schnittstellen des jeweiligen Herstellers gebunden sind. Die standardisierten Schnittstellen sind die sogenannten SCI-Schnittstellen. Diese wurden im Projekt NeuPro [10] entwickelt. Es wurden Schnittstellen zu Stellwerken (SCI-ILS), Bahnübergängen (SCI-LX), Bedienplätzen (SCI-CC) und Radio Block Centre (SCI-RBC) festgelegt. Zusätzlich soll auch die Schnittstelle zwischen dem Stellwerk und den Feldelementen wie Achszähler (SCI-TDS), Weichen (SCI-PM), Signalen (SCI-LS) und einer I/O-Schnittstelle (SCI-IO) vereinheitlicht werden. Eine Schnittstelle zur Ansteuerung von Balisen ist aktuell nicht vorgesehen, diese Schnittstelle (SCI-LEU) wird bisher nur im Projekt EULYNX [11] berücksichtigt.

2.4 Regional- und Nebenstrecken

Besondere Charakteristika von Regional- und Nebenstrecken sind eine geringe Verkehrsdichte, eine Vielzahl an Bahnübergängen sowie signaltechnische Komponenten (z. B. Signale und Achszähler). Die Geschwindigkeiten sind üblicherweise niedrig und liegen im Bereich von etwa 50 km/h bis 100 km/h. Eine hohe Leistungsfähigkeit und Zugfolge werden in der Regel nicht angestrebt, da diese Strecken häufig eingleisig sind und somit die vorhandenen Kreuzungsmöglichkeiten das Problem für eine hohe Taktdichte in beide Richtungen darstellen. Um diese Strecken wirtschaftlich betreiben zu können, muss eine kostengünstige Sicherungstechnik installiert werden. Eine kurze Zugfolge ist nicht anzustreben, wichtiger ist der infrastrukturseitige Ausbau mit Kreuzungsmöglichkeiten, um einen kurzen Takt in beide Richtungen anzubieten.

3 ETCS L1 - die klassische Umsetzung

3.1 Problematik

Der Bedarf für ETCS auf Regional- und Nebenbahnen verlangt nach günstigen Lösungen. Diese sollen eine einfache Architektur ohne Abhängigkeiten zu anderen Technologiebereichen aufweisen. Dies gilt beispielsweise für den Mobilfunk. Im Bahnbereich wird GSM-R als Funktechnik verwendet. Im Level 2 ist GSM-R zur sicheren Übertragung der MA und weiteren Informationen notwendig. Die Funkabdeckung für das Euroradio im Level 2 muss deutlich dichter sein als die Funkabdeckung für den normalen Betriebsfunk. Somit ist es nicht möglich, eine bestehende Funkinfrastruktur, welche für den Betriebsfunk errichtet wurde, ohne weiteres für ETCS L2 zu verwenden. Aus diesem Grund ist eine Sicherungstech-

2.3 The digital interlocking

In principle, a digital interlocking (DI) is an electronic interlocking (EI) with standardised interfaces. The field elements are connected via a Bus-system. Data is exchanged using standardised protocols, so any connected components can be replaced independently of the manufacturer. The standardised interfaces are the so-called Standard Communication Interfaces (SCI). They have been developed within the NeuPro-project [10]. Interfaces for interlocking systems (SCI-ILS), level crossings (SCI-ILS), control systems (SCI-CC) and radio block centres (SCI-RBC) have been specified. In addition, interfaces for the communication between the interlocking and field elements such as axle counters (SCI-TDS), points (SCI-PM) and signals (SCI-LS) as well as an I/O-interface (SCI-IO) will be developed. No balise control interface is currently planned in NeuPro, but this interface has been taken into account in the European EULYNX project [11].

2.4 Regional and secondary lines

A special characteristic of regional and secondary lines involves their low traffic densities, as well as numerous level crossings and signalling components (such as signals and axle counters). The speeds are usually low and fall within the range of around 50 km/h to 100 km/h. High capacities and train sequences are not usually intended for regional and secondary lines. They are commonly single-track lines, which means that high service frequencies cannot be achieved due to the limited presence of junction stations. The profitable operation of such lines requires an inexpensive signalling infrastructure. A higher train sequence is not the intention; the more important goal is the expansion of the infrastructure with a view to increased junction possibilities in order to enable a shorter service frequency in both directions.

3 ETCS L1 – the typical implementation

3.1 A description of the problem

The demand for ETCS on regional and secondary lines requires a low cost solution. It should include a simple architecture without any dependencies on other fields of technology such as radio communication. GSM-R is the prevalent radio communication standard in the rail sector. GSM-R is used in ETCS L2 for the safe and secure transmission of MA and other information. Therefore, the radio coverage clearly has to be denser than the coverage for the common operations radio. Hence, it is not possible to use the existing radio infrastructure, which has been established for the operations radio, for ETCS L2 without making adjustments. For this reason, signalling technology depending on additional infrastructures and technologies is essentially not useful. Consequently, this article expounds an optimised ETCS architecture, which is only based on ETCS L1 without any dependencies on satellite or radio infrastructure. For all that, however, the presented architecture shows more flexibility and a higher dynamic than the present ETCS L1 solutions.

3.2 ETCS L1 – an optimised architecture

It is possible to develop an optimised ETCS architecture on the basis of the aforesaid technical developments. It is crucial that the System Requirements Specification (SRS) [12] is not changed in doing so. Only the combination of ETCS and the interlocking, as well as the generation of telegrams within the interlocking logic, is new. This feature means that route specific information can be used for telegram generation. The telegrams

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für RWTH Aachen / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group GmbH 2020

nik, welche im Kern von weiteren Infrastrukturen und Technologien abhängig ist, für Regional- und Nebenbahnen nicht sinnvoll. Folglich wird in diesem Beitrag eine optimierte ETCS-Architektur erläutert, welche nur auf ETCS L1 basiert, unabhängig von einer Funk- und Satelliteninfrastruktur ist und eine höhere Flexibilität und Dynamik als bisherige ETCS L1 FS-Lösungen aufweist.

3.2 ETCS L1 – eine optimierte Architektur

Aus den zuvor erläuterten technischen Entwicklungen kann nun eine optimierte ETCS-Architektur entwickelt werden. Entscheidend ist, dass dabei nicht die System Requirements Specification (SRS) [12] geändert wird. Neu ist hier die Kombination zwischen ETCS und Stellwerk sowie die Generierung der Telegramme in der Sicherungslogik des Stellwerks. So können fahrstraßenabhängige Informationen zur Generierung der Telegramme verwendet werden. Die an den Balisen übertragenen Telegramme werden erst zur Laufzeit generiert. Somit ist es möglich, fahrstraßenabhängige Informationen speziell für die zu vergebene MA, respektive Fahrstraße, zu verwenden. Die optimierte Architektur ist insbesondere für den Modus FS vorgesehen, da bei diesem auf ortsfeste Signale verzichtet wird. Eine Information bzw. ein Abfahrauftrag an den Tf kann beispielsweise per SMS erfolgen. Die Sicherheit wird hierdurch nicht beeinträchtigt, da im Falle einer SMS mit falschen Informationen der Zug unmittelbar an der nächsten Balise gestoppt wird. In Luxemburg wird zur Erteilung des Abfahrauftrages ein spezielles Signal (Freigabesignal) verwendet, welches auch als Rückfallebene dient [9].

which are transmitted to the balises are generated at runtime. It is therefore possible to use route information, especially for certain MA or routes. The optimised architecture is mainly intended for FS mode. Operations without signals are possible, so that the full potential of ETCS can be achieved. Information or an order to depart can be sent to the driver by SMS, for example. Safety is not affected, as the train will be stopped directly at the next balise, if an SMS contains incorrect data. A special signal, which serves as a fall-back level, is used to transmit the order to depart in Luxembourg [9].

An essential modification in the interlocking logic involves the disengagement of the signal locations and therefore also the classical route logic. As signals are no longer necessary, the route does not need to end at a former signal location. An MA can theoretically end at any balise, which can then send a new MA to the train. This requires a transparent data balise, which is connected to the interlocking. A route for a passenger train can end at the holding position, whereas a freight train's MA can end at the next danger point, which is the fouling point of the next switch. In that case, the supervised location (SvL) has to be set at zero. The same procedure can be applied to track segments. The MA does not need to continue until the end of the block, but can simply continue up to a balise, which can then transmit a new MA.

This new architecture has given ETCS L1 FS flexibility which is comparable to ETCS L2. An ETCS L1 FS line will therefore become more dynamic and flexible than a current L1 implementation. This will bring advantages on regional lines in particular,

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für RWTH Aachen / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group GmbH 2020

Steuern, stellen, sichern.

Scheidt & Bachmann – innovative Sicherheitstechnologie seit 1872.

- Betriebsleittechnik
- Stellwerkstechnik
- Bahnübergangstechnik

Systeme für Signaltechnik

www.scheidt-bachmann.de

SCHEIDT&BACHMANN

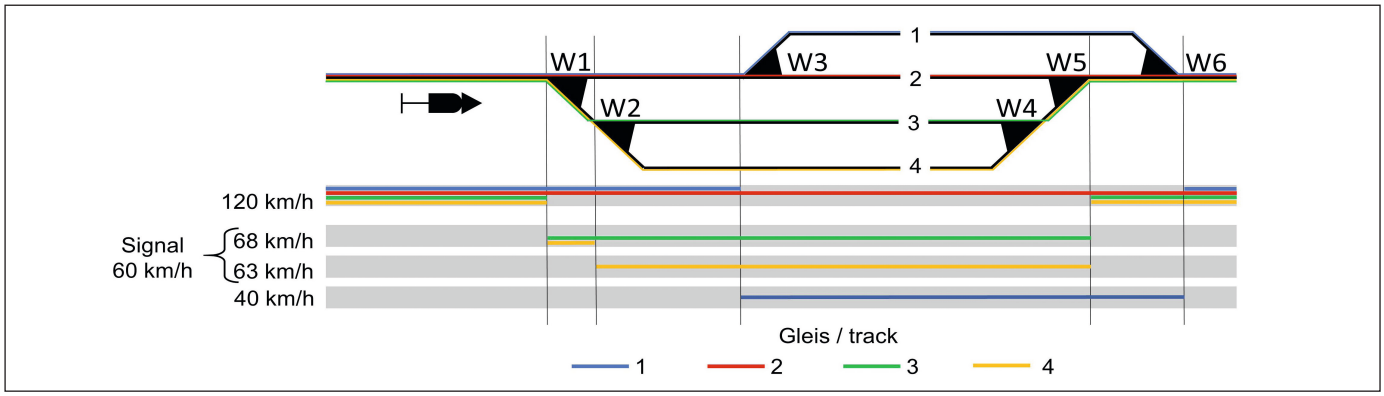


Bild 1: Fahrstraßenabhängige Geschwindigkeitsprofile
Fig. 1: Route-dependent speed profiles

Eine wesentliche Änderung in der Sicherungslogik ist die Loslösung von Signalstandorten und somit auch vom klassischen Fahrstraßenbegriff. Da auf Signale verzichtet wird, muss eine Fahrstraße nicht zwangsweise an einem „Signalstandort" enden. Eine MA kann theoretisch an jeder Balise enden, welche eine neue MA an das Fahrzeug senden kann, d. h. an jeder am Stellwerk angebundener schaltbaren Balise. Eine Einfahrstraße kann z. B. am Halteplatz enden, an welchem der Zug zum Fahrgastwechsel halten soll. Für einen Güterzug kann die MA bis zum nächsten Gefahrenpunkt (Dangerpoint) vergeben werden, also bis zum Grenzzeichen der nächsten Weiche. In diesem Fall müsste in der MA die Supervised Location (kurz: SvL, Durchrutschweg) auf 0 gesetzt werden. Eine gleiche Denkweise kann auch auf der Strecke angewendet werden: Die MA muss nicht bis zum Ende des Blocks reichen, sondern bis zu einer Balise, welche eine neue MA vergeben kann. Mit dieser neuen Architektur kann ETCS L1 FS in Richtung L2 weiterentwickelt werden. Eine ETCS L1 FS-Strecke wird somit dynamischer und flexibler, als es bei heutigen Projektierungen der Fall ist. Dies soll insbesondere auf Regionalstrecken Vorteile bringen, wo sich eine ETCS L2-Anwendung aufgrund der geringen Zugdichte wirtschaftlich nicht rentiert. Im Folgenden sollen nun Vorteile beschrieben werden, die durch die Anwendung der optimierten Architektur entstehen.

4 Vorteile Betriebsabwicklung mit der optimierten ETCS-Architektur

4.1 Fahrstraßenabhängiges Geschwindigkeitsprofil

In der optimierten ETCS-Architektur werden Telegramme in Abhängigkeit der eingestellten Fahrstraße generiert. Durch diesen Prozess ist es zum einen möglich, die MA exakt bis zum Zielsignal zu vergeben. Hierdurch kann in Bahnhöfen auf das Repositioning nach Überfahren von Weichen verzichtet werden. Zum anderen besteht die Möglichkeit, das Geschwindigkeitsprofil, welches an den Zug übertragen wird, mit den tatsächlichen Geschwindigkeiten der Fahrstraße zu generieren. Weichen können dadurch mit der konstruktiv möglichen Geschwindigkeit befahren werden, eine Staffelung in Zehnerschritten ist aufgrund der Führerstandssignalisierung nicht mehr notwendig [13]. Bild 1 stellt die fahrstraßenabhängigen Geschwindigkeitsprofile schematisch dar. Durch die genaueren Geschwindigkeitsprofile lassen sich im Mittel höhere Geschwindigkeiten und somit geringere Fahrzeiten erzielen. Diese Fahrzeitgewinne wirken sich insbesondere in Knoten, aber auch bei Regional- und Nebenstrecken mit geringer Verkehrsdichte, positiv auf die Leistungsfähigkeit aus.

where ETCS L2 operation is not economical due to low train density. The following section sets out the advantages presented by the operation of the new architecture.

4 Operating advantages with the optimised ETCS architecture

4.1 Route-dependant speed profile

The telegrams in the optimised ETCS architecture are generated according to the set route. This procedure means that, on the one hand, it is possible to define the MA with an exact End of Authority (EoA) which represents the location of the target signal, so that repositioning after the passage of the train over the switches in stations is no longer required. On the other hand, it is also possible to transmit the precise speed profile to the train. Switches can be passed at the structurally permissible speed. Staggering at intervals of ten is no longer needed because of the cab signalling [13].
Fig. 1 shows the route-dependant speed profiles schematically. Accurate speed profiles mean that a higher average speed and therefore also a shorter driving time can be achieved. These gains lead to higher capacities at railway junctions in particular, but also on regional and secondary lines with lower traffic densities.

4.2 Temporary speed restrictions

ETCS offers Packet 65 for handling temporary speed restrictions (TSR). This packet is programmed into the relevant balises or integrated via mobile balises. The handling of TSR is significantly easier with the optimised architecture. The static speed profile (SSP), which is available in the interlocking, can be changed into a proof-required procedure so that the TSR become part of the SSP. The SSP packet is then transmitted to the trains in the balise telegram. Hence, it is no longer necessary to transmit the TSR via a separate telegram. The integration of the TSR into the SSP is useful with regard to data handling, because less data capacity is needed.

4.3 Block sectioning

The new architecture is normally used in the FS mode. Lineside signals are no longer needed due to cab signalling and the non-existent need to select telegrams with the aid of the lamp current detection. Therefore, existing axle counters equipped with a balise can be used to introduce new block sections. This feature is shown in fig. 2. Capacity can therefore be improved without any complex changes to infrastructure. It is, however, necessary to

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für RWTH Aachen / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group GmbH 2020

4.2 Langsamfahrstellen

Für die Projektierung von Langsamfahrstellen ist in ETCS das Paket 65 vorgesehen. Dieses Paket wird in den entsprechenden Balisen einprogrammiert oder mit Wurfbalisen integriert. Das Handling von Langsamfahrstellen kann im hier beschriebenen Fall deutlich einfacher erfolgen.

Das statische Geschwindigkeitsprofil (Static Speed Profile: SSP), welches im Stellwerk verfügbar ist, kann in einem besonderen, nachweispflichtigen Verfahren geändert werden, sodass die Langsamfahrstelle ein Teil des SSP wird. Das Paket SSP wird dann als Teil eines Telegramms von der Balise an den Zug übertragen. Dadurch ist es nicht mehr notwendig, die Langsamfahrstelle über ein separates Telegramm zu übertragen. Die Integration der Langsamfahrstelle in das SSP ist aus datentechnischer Sicht sinnvoll, da so weniger Übertragungskapazität benötigt wird.

4.3 Blockteilung

Bei Anwendung der optimierten Architektur wird grundsätzlich im Modus FS operiert. Auf streckenseitige Signale kann aufgrund der Führerstandssignalisierung und der fehlenden Notwendigkeit der Telegrammauswahl anhand der Signallampenströme verzichtet werden. Somit können an bestehenden Gleisfreimeldegrenzen, die mit einer Balise ausgestattet sind, neue Blöcke eingerichtet werden. Dies ist in Bild 2 dargestellt.

Somit kann die Leistungsfähigkeit ohne aufwendige Infrastrukturanpassungen erhöht werden. Dies ist jedoch nur unter der Voraussetzung möglich, dass die zuvor beschriebene Architektur verwendet wird. Da eine MA nicht mehr von der Ein- oder Ausfahrstraße und dem klassischen Streckenblock abhängig ist, muss auch hier eine neue Fahrstraßenlogik angewendet werden.

4.4 Infrastrukturausnutzung

Mit ETCS FS ist ein von der Einfahrgeschwindigkeit abhängiger Regeldurchrutschweg nicht mehr zwangsweise notwendig. Wenn in der MA die Supervised Location bzw. der Danger Point zu null gesetzt wird, so endet die Emergency Breaking Curve bei der End of Authority (EoA). Der benötigte Durchrutschweg ist in diesem Fall ausschließlich von der Release Speed und dem daraus resultierenden Bremsweg abhängig. Durch den Rückbau von Signalen kann die Differenz aus dem Regeldurchrutschweg und der Distanz zwischen Balise und Gefahrenpunkt daher der Gleisnutzlänge zugeschlagen werden. Somit wird die Einführung von längeren Zügen vereinfacht.

use the described architecture. It is necessary to use a new route logic, if an MA is no longer dependent on entry and exit routes and a line block.

4.4 The utilisation of infrastructure

ETCS FS eliminates the need for a standard entry speed dependent overlap. If the supervised location or danger point distance is set to zero in the MA, the emergency braking curve ends at the end of the authority. The required overlap is solely dependent on the braking distance based on the selected release speed at the EoA. The dismantling of signals means that the difference between the standard overlap and the distance between the balise and the fouling point can be added to the usable length of track. Hence, the introduction of longer trains is simplified.

4.5 The integration of level crossings

Level crossings (LX) are rarely taken into account in ETCS. Only Packet 88 allows the transmission of an LX's protection status. An additional speed restriction is inserted in the case of an unprotected LX and it is monitored by ETCS. The monitoring of an optional stop in front of the LX is also possible. Protected LX do not influence the existing speed profile. It is possible to integrate the LX into the MA in the new architecture. The LX must be connected to the interlocking, which is already the case for LX with route dependency. An autonomous LX does not use an interface. In the case of an LX with an interface, the MA is generated with the End of Authority (EoA) at the location of the LX instead of the next main signal. The LX is activated conventionally and can subsequently extend the MA accordingly. Therefore, a balise must be positioned at the brake intervention point. If the LX is not protected, the train will stop at the LX automatically. If an LX is manually secured due to system failure, a new MA can be transmitted to the train behind the LX. LX chains can also be integrated. If the interlocking knows the protection status of every LX, it can generate an MA up to a malfunctioning LX in the case of any system failure. In this case, every protected LX can be passed, while only the malfunctioning LX requires manual protection. In conventional cases, the train has to stop at every LX in order to check the protection status due to the fact that the monitoring signal is unable to reveal the location of the malfunctioning LX.

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für RWTH Aachen / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group GmbH 2020

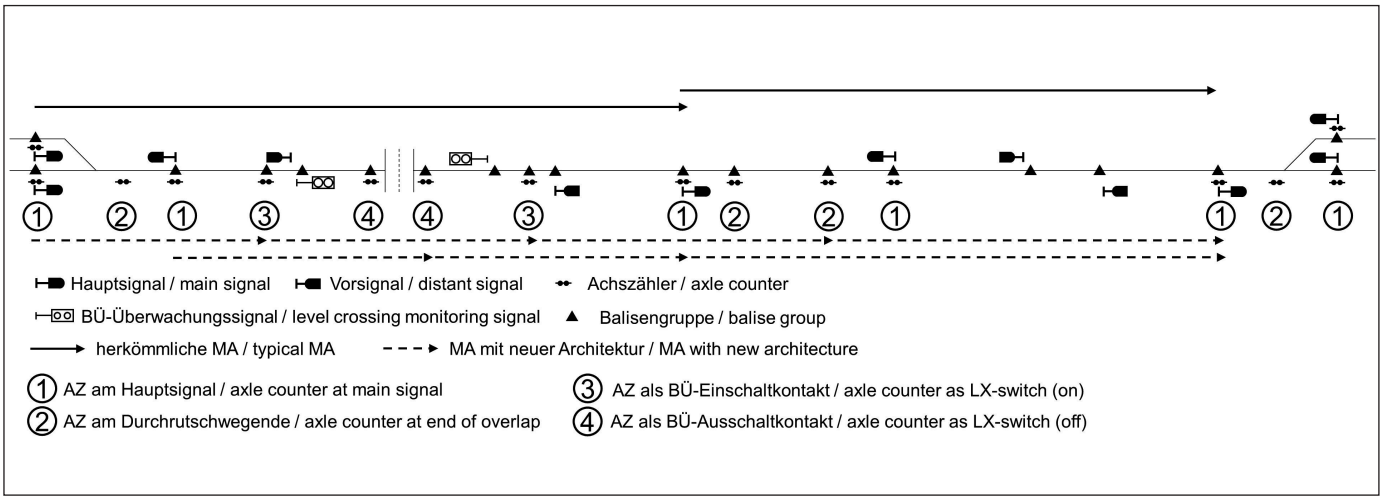


Bild 2: Neue Blockteilung
Fig. 2: Splitting an MA using existing axle counters

4.5 Integration Bahnübergänge

Bahnübergänge (BÜ) werden in ETCS bisher kaum betrachtet. Lediglich Paket 88 erlaubt es, den Sicherungszustand eines BÜ zu übertragen. Ist der BÜ nicht gesichert, so wird auf dem Fahrzeug eine zusätzliche Geschwindigkeitsrestriktion eingeführt und diese mit der zugehörigen Bremskurve überwacht. Optional kann ein Halt vor dem BÜ überwacht werden. Bei gesichertem BÜ wird das existierende Geschwindigkeitsprofil nicht beeinflusst. Bei der optimierten Architektur ist es möglich, den BÜ in die MA zu integrieren. Dazu muss der BÜ mit dem Stellwerk verbunden werden, was bei Hp- und FÜ-Anlagen bereits der Fall ist. Lediglich ÜS- und wärterbediente Anlagen verfügen nicht über eine Stellwerksschnittstelle. Ist der BÜ mit dem Stellwerk verbunden, so kann die MA bei eingestellter Fahrstraße bis zum BÜ vergeben werden, anstatt bis zum nächsten Hauptsignal. Der BÜ wird dann herkömmlich eingeschaltet und kann anschließend entsprechend die MA verlängern. Dazu muss eine Balise vor dem Bremseinsatzpunkt positioniert werden. Sollte der BÜ nicht gesichert werden, so hält der Zug automatisch am BÜ. Wird im Störfall der BÜ manuell gesichert, so kann hinter dem BÜ eine neue MA vergeben werden. BÜ-BÜ-Ketten können auf diese Weise betrieblich sinnvoll integriert werden. Kennt das Stellwerk den Sicherungszustand der einzelnen BÜ, so kann im Störungsfall eines BÜ die MA bis zu diesem BÜ vergeben werden und die gesicherten BÜ können einfach passiert werden. Nur der gestörte BÜ muss dann manuell gesichert werden. Im herkömmlichen Fall müsste der Zug an jedem BÜ halten, um den Sicherungszustand zu überprüfen, da das Überwachungssignal einer BÜ-BÜ-Kette bei BÜ 0 nicht den gestörten BÜ ausweist.

4.6 Rangieren in L1

Rangierfahrten im herkömmlichen L1 FS können nur sehr rudimentär umgesetzt werden. Am Signal wird nur der Signalbegriff Sh 1 angezeigt. Welche Rangierfahrstraße eingestellt ist, kann jedoch nicht erkannt werden. In der optimierten Architektur ist die eingestellte Rangierfahrstraße bekannt. Der erlaubte Bewegungsbereich des Zuges kann somit weiter eingeschränkt werden. Hierfür kann eine Balisenliste ans Fahrzeug übertragen oder die Balise am Fahrstraßenziel als Begrenzungsbalise eingerichtet werden.

Wenn die Rangierfahrstraße bekannt ist, so ist es nicht zwangsweise erforderlich, für die Fahrzeugbewegung in den Modus SH zu wechseln. Das Fahrzeug kann auch im Modus On Sight (OS) oder sogar FS bewegt werden. Dies würde bei Bereitstellungsfahrten die Leistungsfähigkeit erhöhen, da die befahrenen Weichen aufgrund höherer Geschwindigkeiten nicht so lange belegt werden, als wenn die klassische Rangierfahrt mit 25 km/h durchgeführt wird.

Die Rangierfahrten können in folgende Kategorien unterschieden werden:

- Bereitstellungsfahrt ohne Richtungswechsel (FS / OS)
- Rangierfahrt mit Richtungswechsel (SH)
- Rangierfahrt in ein besetztes Gleis (OS)

Die entsprechenden Modi können über Balisen an das Fahrzeug übermittelt werden.

4.7 Fahrstraßenabhängiges Verlinken

Die Verlinkung macht dem Fahrzeug die im Gleis verlegten Balisen bekannt. In einer klassischen FS-Projektierung kann aus dem Signalbegriff nicht zwangsweise die eingestellte Fahrstraße erkannt werden. So ist es z. B. nicht möglich, bei Einfahrt in ein Gleis die richtige Balise zu verlinken. In der optimierten Architektur liegen Fahrstraßeninformationen vor, sodass die Balisen im Bereich der MA bekannt sind und entsprechend verlinkt werden kann. Somit

4.6 Shunting in L1

Shunting movements can only be performed rudimentarily in conventional L1 FS. The shunting signal only shows signal indication Sh 1. The shunting route cannot be detected. However, the shunting route is known in the optimised architecture. Hence, the train's permitted area of movement can be restricted. A list of permitted balises can be transmitted to the train to this end. Alternatively, the balises at the end of the route can be configured as limiting balises.

If the shunting routes are known, it is not compulsory to change to the shunting mode (SH). The train can be moved in the OS mode or even in the FS mode as well. Provisioning movements can be performed at higher speeds, which leads to the shorter occupation of points than usual shunting movements at 25 km/h. As such, station capacity is improved.

Shunting movements can be divided into the following categories:

- provisioning movements without a change of direction (FS / OS)
- shunting movements with a change of direction (SH)
- shunting movements onto an occupied track (OS)

The necessary modes can be transmitted to the vehicle via a balise.

4.7 Route-dependent linking

Linking is used to announce the balises to the train. Linking can be route-dependent. The interlocking knows every balise on a route. There are no cases where a route is not known. A specific list of balises can be transmitted to the train. Therefore, it is possible to dispense with any unlinked balises, which, for example, are necessary during repositioning. As such, security can be improved, as the unlinked balises are not evaluated and any incorrect data is therefore not accepted. Hence, there is no opportunity to transmit incorrect data, either knowingly or unknowingly. A change in the SRS is necessary in order to improve security, because unlinked balises are currently also accepted by trains.

4.8 Emergency stop

The DB Netz AG rulebook prescribes emergency stop orders in the case of danger. These orders are transmitted to the train drivers orally via GSM-R. Moreover, emergency stop orders can be sent directly to the train in ETCS L2, where they initiate emergency braking. Analogously, an emergency stop order can be transmitted to a train at every balise. As the SRS does not offer a telegram for that purpose, the stop order has to be realised using an MA with speed V_MAIN = zero, which also initiates emergency braking. The telegram which is to be introduced in future versions of the SRS specifically for emergency stop orders will enable the emergency stop orders to be issued more precisely for the individual modes.

5 Data management

The allocation of the telegrams to the balises is a data management challenge. This is particularly necessary for profile data with integrated temporary speed restrictions and for linking information. Due to dynamic telegram generation, information can be divided among several balises, including balises in the opposite direction (in the conventional way of thinking). Therefore, data storage must also be considered in addition to data transmission concepts. In conventional ETCS L1 applications, data can be stored decentrally in the LEU due to the fix programmed telegrams. The new architecture requires the data to

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für RWTH Aachen / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group GmbH 2020

ist es möglich, auf unverlinkte Balisen zu verzichten, welche beispielsweise beim Repositioning benötigt werden. Hierdurch kann die Sicherheit erhöht werden, da in das Gleis gelegte, nicht verlinkte Balisen nicht akzeptiert werden und somit keine falschen Daten vom Fahrzeug ausgewertet werden. Daher besteht keine Möglichkeit, bewusst oder unbewusst falsche Daten an einen Zug zu übermitteln.
Um die Sicherheit zu erhöhen, indem nur verlinkte Balisen vom Fahrzeug ausgewertet werden, ist jedoch eine Änderung der SRS notwendig, da bisher auch nicht verlinkte Balisen vom Fahrzeug akzeptiert werden.

4.8 Nothaltaufträge

Die Fahrdienstvorschrift schreibt bei Gefahr das Absetzen eines Nothaltauftrages vor. Dieser wird über GSM-R mündlich an die Tf übermittelt. In ETCS L2 können darüber hinaus Nothaltaufträge direkt an die Fahrzeuge übertragen werden, sodass unmittelbar eine Notbremsung eingeleitet wird. Analog hierzu kann an jeder Balise ein Nothaltauftrag übermittelt werden. Da die SRS aktuell noch keine Telegramme hierfür vorsieht, kann der Nothaltauftrag über eine MA mit der Geschwindigkeit V_MAIN = null realisiert werden. Durch ein in zukünftigen Versionen der SRS einzuführendes Telegramm, speziell für Nothaltaufträge, kann der Nothaltauftrag für die einzelnen Betriebsmodi präzisiert werden.

5 Datenmanagement

Eine Herausforderung im Datenmanagement ist die Identifizierung der Telegramme, die an den Balisen vorhanden sein müssen. Dies gilt insbesondere für die Profildaten, ggf. mit eingearbeiteten Langsamfahrstellen, sowie für die Linking-Informationen. Durch die Dynamisierung der Telegramme können Informationen darüber hinaus auf verschiedene Balisen, auch der (in klassischer Denkweise) Gegenrichtung, verteilt werden. Daher müssen beim Datenmanagement neben der Datenhaltung auch Datenübertragungskonzepte betrachtet werden. In konventionellen ETCS L1-Anwendungen kann aufgrund der fest einprogrammierten Telegramme von einer dezentralen Datenhaltung gesprochen werden. In der neuen Architektur müssen bei dynamisch generierten Telegrammen die Daten in verschiedenen Stellwerken verfügbar sein. Eine zentrale Datenhaltung in Form einer Streckenzentrale ist sinnvoll, um Versionierungsfehler, Dateninkonsistenzen und Redundanzen zu vermeiden.

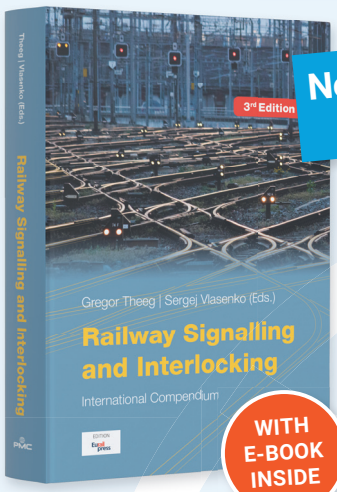
6 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde eine optimierte ETCS-Architektur vorgestellt, welche auf ETCS L1 FS basiert und eine kostengünstige ETCS-Lösung für Regional- und Nebenstrecken darstellt. Die Voraussetzung für diese Architektur ist eine Verbindung der ETCS-Streckenausrüstung mit dem Stellwerk (DSTW). Durch die beschriebenen Eigenschaften und Vorteile kann mit der optimierten Architektur auf den besagten Strecken der Betrieb effektiver abgewickelt werden. Zudem können Bahnübergänge, welche auf den Strecken häufig vorkommen, in die ETCS-Logik integriert werden. Ebenso wurden Ansätze zur Datenhaltung und den Möglichkeiten zur Übertragung an den Zug kurz dargestellt. Die SCI-Schnittstellen wurden nicht auf Eignung für die vorgestellte Architektur überprüft. Bei einer angestrebten Umsetzung der Architektur müssen diese Schnittstellen entsprechend angepasst werden.
Neben den in diesem Beitrag erläuterten Aspekten sind einige Themengebiete noch weiter im Detail zu betrachten. Hierzu

PMCMedia
International Publishing

Railway Signalling and Interlocking

The 3rd edition of the international compendium documents the **principles and current situation of international signalling technology.**



New Edition 2019 – Preorder now!

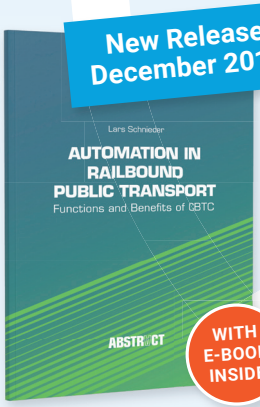
WITH E-BOOK INSIDE

Railway Signalling and Interlocking
3rd edition Nov. 2019, Editors: Gregor Theeg, Sergej Vlasenko, approx. 560 pages, hardcover, ISBN: 978-3-96245-169-1,
Print with E-Book Inside € 68,-*
(instead of € 79,-* after publication)
www.pmcmedia.com/signallingeng

Order your copy at www.pmcmedia.com/en

The new ABSTRACT series:

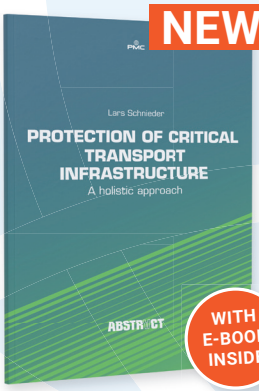
New Release December 2019



WITH E-BOOK INSIDE

Automation in Railbound Public Transport – Functions and Benefits of CBTC
Print with E-Book Inside € 29,-*
www.pmcmedia.com/automationeng

NEW



WITH E-BOOK INSIDE

Protection of Critical Transport Infrastructure
Print with E-Book Inside € 29,-*
www.pmcmedia.com/protectioneng

* Prices include VAT but exclude shipping costs

ORDER HERE:
Tel.: +49 7953 718-9092
Fax: +49 40 228679-503
E-Mail: office@pmcmedia.com
Online: www.pmcmedia.com

BY MAIL:
PMC Media House GmbH
Customer Service
D-74590 Blaufelden

PMC Media House GmbH | Werkstättenstr. 18 | D-51379 Leverkusen
Office Hamburg | Frankenstr. 29 | D-20097 Hamburg

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für RWTH Aachen / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group GmbH 2020

zählt beispielsweise die Integration von BÜ und die Interaktion zwischen BÜ und Stellwerk. Mögliche Reduzierungen der BÜ-Schließzeiten müssen untersucht werden, ebenso die Verfahren im Fall einer Störung am BÜ.
Bei dem Verzicht auf Signale muss auch die Bedienoberfläche des Fahrdienstleiters neu durchdacht und angepasst werden, um das volle Potenzial der Architektur auszuschöpfen. Ein weiterer Aspekt stellt die bidirektionale Kommunikation zwischen Infrastruktur und Fahrzeug dar. In ETCS L2 ist eine bidirektionale Kommunikation durch GSM-R gegeben. Für ETCS L1 war in den ersten Versionen der SRS auch eine bidirektionale Kommunikation zwischen Infrastruktur und Fahrzeug über Balisen vorgesehen, wurde bisher jedoch nicht umgesetzt und ist in der aktuellen Baseline auch nicht mehr enthalten. Dies ist vor allem auf die Stellwerkstechnik zurückzuführen, da durch den Abgriff der Lampenströme an den Signalen keine Kommunikationsmöglichkeit zum Stellwerk besteht. Mit der optimierten Architektur besteht prinzipiell die Möglichkeit, Telegramme von dem Zug an die Strecke zu schicken. Die daraus resultierenden betrieblichen Vorteile sind zu untersuchen und zu bewerten. Bei Bedarf sollte dann die bidirektionale Kommunikation für ETCS L1 wieder in zukünftige Baselines integriert werden. ■

be available at different interlocking systems for the generation of telegrams. As such, central data storage helps to avoid versioning errors, data inconsistencies and redundancies.

6 Summary and outlook

This article has introduced an optimised ETCS architecture, which is based on ETCS L1 FS and presents an inexpensive ETCS solution for regional and secondary lines. A connection between the ETCS track infrastructure and the interlocking (digital interlocking) is necessary as a prerequisite for this architecture. The described features and advantages enable the optimised architecture to provide more effective operations on the lines. Furthermore, level crossings, a common feature on these lines, can also be integrated into the ETCS logic. Data management concepts and data transmission opportunities have also been described. The SCI have not been tested for this application. These interfaces would have to be appropriately adapted in the case of the intended implementation of that architecture. In addition to the concepts described in this article, some topics have to be considered in further detail. Just such an example includes the integration of level crossings, as well as the interaction between the level crossings and the interlocking. Possible reductions in closing times have to be investigated, as do the procedures for system failures at level crossings.
The abandonment of lineside signals means that the operator panel must also be rethought in order to realise the full potential of this new architecture. A further aspect involves possible bidirectional communications between the infrastructure and the train. ETCS L2 provides bidirectional communication via GSM-R. Bidirectional communication between the infrastructure and the train via balises was defined in the earlier SRS versions for ETCS L1, but it has not yet been implemented and it is no longer contained in the current baseline. This can all be traced back to the interlocking technology, as no communication with the interlocking is possible due to the tapping of the lamp current in the signals. The new architecture makes communication from the train to the track possible in principle. The resulting advantages must be investigated and evaluated. If necessary, bidirectional communication for ETCS L1 should then be reintegrated into future baselines. ■

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für RWTH Aachen / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group GmbH 2020

LITERATUR | LITERATURE

[1] Ministerium für Transport, Innovation und Technologie (Österreich), „National implementation plan for ERTMS in Austria", 2017
[2] Rete Ferroviaria Italiana, „Piano di Sviluppo di ERTMS (ETCS e GSM-R) sulla rete RFI", 2015
[3] Bartholomeus, M. et al.: „ERTMS Hybrid Level 3", SIGNAL+DRAHT, 1+2/2018, S. 15–22
[4] Wendler, E.: „Influence of ETCS on line capacity" in: UIC ERTMS World Conference, Bern, 2007
[5] Feltz, A. et al.: „Analyse und Optimierung von ETCS-Parametern im Luxemburger Eisenbahnnetz", SIGNAL+DRAHT, 3/2017, S. 6–17
[6] Ptok, F.-B.; Salbert, F.: „Einsparung von Signalen bei ETCS", Eisenbahntechnische Rundschau, 11/2007, S. 682–688
[7] Stadlbauer, R.: „Neue Trends bei ETCS Level 1", SIGNAL+DRAHT, 3/2019, S. 6–12
[8] Veider, A. et al.: „Betrieblich optimierter Einsatz von ETCS-Level 1", SIGNAL+DRAHT, 7+8/2002, S. 13–18
[9] Arend, L. et al.,: „ETCS L2 ohne GSM-R", SIGNAL+DRAHT, 10/2018, S. 18–28
[10] Lisker, A.; Kanis, K.: „Inbetriebnahme des DSTW Annaberg-Buchholz Süd", SIGNAL+DRAHT, 4/2018, S. 65–72
[11] Heijnen, F.: "EULYNX - The next generation signalling strategy for Europe" in: Signalling Seminar IRSE ITC – JR East, 2016
[12] ERTMS – European Railway Association, "Subset 026 – System Requirement Specification", Baseline 3, Version 3.6.0
[13] Lenze, W.; Nießen, N.: „Optimization of Speed Changes and its Effects on Running Time and Capacity" in: Proc. of the 16th International Conference on Railway Engineering, Design and Operation (2018), Jul 2.-4., S. 297-306, Lissabon, Portugal, (COMPRAIL 2018) Wessex Institute

AUTOREN | AUTHORS

Dipl.-Ing. Peter Laumen
Wissenschaftlicher Mitarbeiter / *Research assistant*
E-Mail: laumen@via.rwth-aachen.de

Tim Kipshagen, M. Sc.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter / *Research assistant*
E-Mail: kipshagen@via.rwth-aachen.de

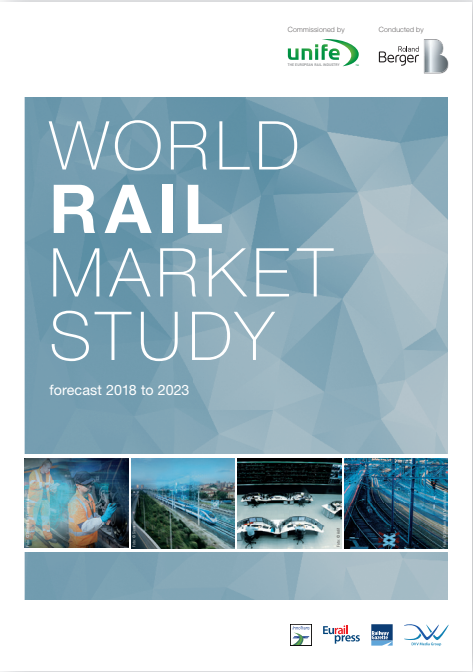
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nils Nießen
Leiter des Verkehrswissenschaftlichen Instituts /
Head of Institute of Transport Science
E-Mail: niessen@via.rwth-aachen.de

Alle Autoren | all authors:
RWTH Aachen, Institute of Transport Science
Anschrift / *Address*: Mies-van-der-Rohe-Str. 1, D-52074 Aachen

WORLD **RAIL** MARKET STUDY

7th edition • forecast until 2023

Commissioned by UNIFE, conducted by Roland Berger and published by DVV | Eurailpress | Railway Gazette



The UNIFE World Rail Market Study provides a comprehensive view of the current status and expected development of the total and accessible world rail supply market. Based on project data from UNIFE member companies, a sophisticated forecasting model as well as interviews with rail executives, market volumes are quantified by region and segment.

Available as:
PDF Version - ISBN 978-3-87154-628-0
Printed Version - ISBN 978-3-87154-627-3
Date of publication: September 2018

The largest study of its kind – Order this unique insight to the world rail market right now!

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für RWTH Aachen / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group GmbH 2020

More information at www.eurailpress.de/study18

Contact: DVV Media Group GmbH I Eurailpress

Internet: www.eurailpress.de/study18
E-Mail: service@eurailpress.com
Phone: +49 40 237 14-260
Fax: +49 40 237 14-258

Commissioned by unife THE EUROPEAN RAIL INDUSTRY

Conducted by Roland Berger

InnoTrans

Eurail press

Railway Gazette INTERNATIONAL

DVV Media Group