# ETCS Level 2 ohne GSM-R

# FTCS Level 2 without GSM-R

Lionel Arend | Laurent Pott | Nico Hoffmann | Ronny Schanck

ie Linie 1 des Luxemburgischen Eisenbahnnetzes verbindet die Hauptstadt Luxemburg mit dem Norden des Landes, entlang der Alzette, Sauer und durch die Ardennen bis zur Grenze nach Belgien. Aktuell werden die Bahnhöfe und Blockstellen mit einem Spurplan-Drucktasten-Stellwerk betrieben. Im Rahmen einer Modernisierung der Sicherheitstechnik wird auf der Strecke ein neues Signalgebungskonzept erstmals umgesetzt. Die einzuführende vereinfachte Außensignalisierung beruht auf einer Weiterentwicklung der CFL-Kabinensignalisierung über ETCS Level 1 Full Supervision und reduziert die Anzahl an streckenseitigen Signalen. Dabei werden die technischen Möglichkeiten einer digitalen Stellwerkarchitektur mit denen des ETCS Level 1-Systems kombiniert und zu einem gesamtheitlichen, leistungsfähigen System integriert.

### 1 ETCS in Luxemburg heute

Das Signalsystem auf dem Luxemburgischen Eisenbahnnetz ist vergleichbar aufgebaut wie das Haupt-/Vorsignal-System der Deutschen Bahn. Grundlage sind die Hauptsignale, die den Zügen den Halt oder die Weiterfahrt befehlen. Die Befehle der Hauptsignale werden von Vorsignalen im Bremsabstand und in bestimmten Fällen von Wiederholern angekündigt. Haupt- und Vorsignale werden durch verschiedene Zusatzsignale ergänzt, so unter anderem durch Geschwindigkeits(vor-)anzeiger oder Gleiswechselanzeiger. Rangierfahrten werden über Gleissperrsignale abgewickelt.

Um die Sicherheit auf dem Luxemburgischen Eisenbahnnetz zu erhöhen, entschieden die CFL 1999, dieses klassische Signalsystem auf dem gesamten Netz mit dem ETCS-Sicherungssystem Level 1 Full Supervision auszubauen. Heute ist ETCS das einzige zugelassene Zugsicherungssystem in Luxemburg und schützt täglich rund 800 Zugfahrten. Nach einer mehrjährigen Migrationsphase wird ab dem 31. Dezember 2019 nur noch mit ETCS ausgerüstetes Rollmaterial auf dem Netz verkehren.

Das streckenseitige ETCS-System besteht aus Balisengruppen, die sich aus Festdatenbalisen und schaltbaren Balisen zusammensetzen, wobei letztere durch streckenseitige Rechnereinheiten (kurz LEU, engl. Lineside Electronic Unit) angesteuert werden. Jedes Lichtsignal ist mit einer solchen LEU ausgerüstet, welche über eine Strommessung im Signalstromkreis den aktuell angezeigten Signalbegriff abgreift und abhängig davon ein bestimmtes Telegramm in die schaltbaren Balisen lädt. Die Balisengruppen senden so einem überfahrenden Zug eine elektronische Ausgabe des angezeigten Signalbegriffes in Form einer Fahrterlaubnis oder eines Haltbefehls. Der grundsätzliche Aufbau ist in Bild 1

Das ETCS-System der CFL ist als Kabinensignalisierung ausgelegt, so dass ein Triebfahrzeugführer nach der Einfahrt in die Betriebsart Full

ine 1 of the Luxembourg railway network connects the Lapital Luxembourg with the northern part of the country along the Alzette and Sûre rivers and through the Ardennes Mountains to the Belgian border. Currently the stations and block sections are operated using relay-based signalling boxes. A new signalling concept is to be introduced to the line as part of a technology upgrade. The design of the planned simplified lineside signalling is based on CFL cabin signalling with ETCS Level 1 Full Supervision and it reduces the number of trackside signals. At the same time, the technical capabilities of the digital interlocking architecture will also be combined with those of the ETCS Level 1 system and integrated into a single, powerful system.

### 1 ETCS in Luxembourg today

The signalling system on the Luxembourg railway network is comparable to that of the main / distant signalling system used by the Deutsche Bahn. It relies on main signals which command a train to stop or to continue its running. The main signal orders are signalled by distant signal installations placed at the braking distance and in some cases by repeater signals. The main and distant signals are supplemented with various additional signals, such as speed indicators or wrong-line signals. Shunting movements are handled by shunting signals. In order to improve safety on the Luxembourg railway network, CFL decided to extend this conventional signalling system to the entire network with the ETCS Level 1 Full Supervision train control system in 1999. Today ETCS is the only authorised train control system in Luxembourg and it protects approximately 800 trains every day. Upon the completion of the migration period which ends on December 31st 2019, only ETCS-equipped rolling stock will be permitted to circulate on the network.

The trackside ETCS system consists of balise groups which comprise fixed-data balises and switchable balises, where the latter are commanded by lineside electronic units (LEU for short). Each light signal is equipped with such a LEU, which determines the currently displayed signal aspect by means of a current measurement in the lamp circuit and loads an appropriate telegram into the connected switchable balises. As such, a passing train receives an electronic edition of the displayed signal aspect; either a movement authority or a stop command. The basic setup is represented in fig. 1.

CFL's current ETCS system has been designed as a cabin signalling system: the driver is no longer required to observe the line-



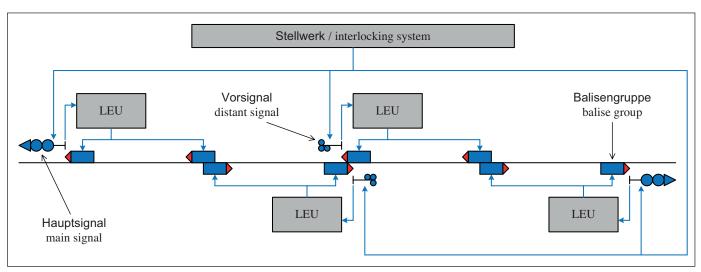


Bild 1: ETCS Level 1 - Bestehende Umsetzung

Fig. 1: ETCS Level 1 – current implementation

Supervision (FS) die Außensignale nicht mehr beachten muss. Dabei werden die Geschwindigkeit und die Länge der Fahrterlaubnis vom System überwacht. Das streckenseitige System entspricht der Baseline 2.3.0d und ist zertifiziert nach der TSI ZZS 2016/919.

Das heutige ETCS System der CFL war als Migrationsschritt geplant, um bestehende Stellwerke mit dem modernen Zugsicherungssystem ausrüsten zu können. Nach dem Abschluss der Migration und mit der Erneuerung eines Stellwerks bietet sich nun die Gelegenheit, ETCS und Stellwerk zu einem integrierten System zu vereinen um somit die Stärken beider Systeme voll auszuschöpfen.

Dabei setzen die CFL, entgegen einer allgemeinen europäischen Tendenz zu Level 2, bewusst weiterhin auf ein Level 1-System mit punktförmiger Informationsübertragung. Neben den guten Erfahrungen mit dem Bestandssystem ergibt sich dieser Standpunkt aus folgenden Gründen:

- Durch den Verzicht auf Mobilfunkübertragungstechnik bleiben Signalgebung und Zugsicherung vollständig innerhalb eines physikalisch geschlossenen Netzes.
- Unterschiedliche Entwicklungs- und Lebenszyklen in der Sicherungstechnik (25 Jahre) und der Mobilfunktechnik (fünf Jahre) reduzieren voraussichtlich die Lebensdauer des Gesamtsystems.
- Die CFL möchten nicht vollständig auf Außensignale verzichten um über eine Rückfallebene im eingeschränkten Betriebsfall zu verfügen. Zudem sind die Außensignale für den Rangierbetrieb notwendig. Die Einrichtung eines Level 2-Systems ist in einem solchen Szenario finanziell nur schwer vertretbar.
- Bei den kurzen Distanzen und Blockabständen in Luxemburg sind die betrieblichen Vorteile beim Einsatz eines kontinuierlichen Übertragungsweges verschwindend gering.

Die CFL möchten aus den vergangenen Erfahrungen im Betrieb von ETCS Level 1 profitieren und haben das bestehende System konsequent weiterentwickelt. Diese Weiterentwicklung besteht aus einer Integration vom Stellwerk mit dem ETCS-System und beruht auf zwei Grundlagen: Der zentralen Programmierung und Steuerung der schaltbaren Balisen unmittelbar durch das Stellwerk sowie einer Reduzierung und Vereinfachung der Außensignalisierung.

#### 2 Zentrale Steuerung der Balisen durch das Stellwerk

Im geplanten System werden die schaltbaren Balisen funktional unmittelbar mit der Stellwerklogik verbunden. Der Inhalt der Baliside signals after entering Full Supervision (FS) mode. The train speed and the end of the movement authority are monitored by the system. The trackside system is based on Baseline 2.3.0d and has been certified according to TSI CCS 2016/919.

CFL's ETCS system has been planned as a migration step in order to allow the existing signalling boxes to be equipped with a modern train control system. The completion of this migration and the planned upgrade of the signalling boxes constitutes an opportunity for CFL to combine the interlocking system and the ETCS into an integrated system in order to tap their full potential.

In this regard, and in opposition to the general European tendency towards ETCS Level 2, CFL decided to continue using a Level 1 system with discrete information transmission points. In addition to the positive experiences from the use of the existing system, the decision was motivated by the following reasons:

- Without mobile communications technology, the train command, control and signalling all remain within a physically closed network.
- The different development and life cycles in signalling (25 years) and mobile communications (five years) contain the risk of reducing the system's overall lifetime.
- CFL do not plan to completely abandon lineside signals, which are still required for degraded mode and shunting operations. A Level 2 system is financially not advantageous in such a scenario.
- The short distances and block sections in Luxembourg do not require continuous information transmission for optimal line capacity.

CFL would like to profit from the past experience with ETCS Level 1 operations and have therefore invested in its further development. This development consists of the integration of the interlocking and train control systems and is based on two fundamental characteristics: the centralised programming and control of switchable balises directly by the interlocking system and the reduction and simplification of lineside signalling.

### 2 Centralised balise control by the interlocking system

In the planned system, the switchable balises are functionally linked with the interlocking logic. The contents of the balise



sentelegramme wird direkt durch das Stellwerk bestimmt und von diesem gesteuert. Somit kann auf die Schnittstelle über Signalabgriff und LEU verzichtet werden, wie in Bild 2 gezeigt.

Die zentrale Steuerung der Balisen ist nicht mit einer zentralisierten LEU zu verwechseln. Eine zentralisierte LEU benutzt ebenfalls Signalinformationen aus dem Stellwerk, um die schaltbaren Balisen von einem zentralen Standpunkt aus anzusteuern. Die zentralisierte LEU kann jedoch nicht die volle Bandbreite der weiter unten beschriebenen Funktionalität erreichen.

Aus der unmittelbaren Verbindung zwischen Stellwerk und Balisen ergeben sich neue technische und betriebliche Möglichkeiten, welche dem geplanten System annähernd die Funktionalitäten eines Level 2-Systems verleihen.

#### 2.1 Erweitertes Befehlsvokabular

Im klassischen ETCS-System mit Signalabgriff sind die ETCS-Nachrichten eine Abbildung des angezeigten Signalbegriffes. Eine LEU enthält die gleiche Anzahl möglicher Telegramme wie das entsprechende Signal Begriffe anzeigen kann.

Die Bandbreite an möglichen Befehlen ist somit durch das vorhandene Signalsystem begrenzt. Zudem ist ein abgegriffener Signalaspekt nicht immer eindeutig einem Fahrweg zuzuordnen.

Durch die zentrale Steuerung der Balisen werden die ETCS-Telegramme vom angezeigten Signalbegriff entkoppelt und können so, abhängig von internen Stellwerkzuständen, quasi beliebige Befehle enthalten. Dies bietet einen größeren Freiraum und mehr Flexibilität um die Fahrt- und Streckendaten situationsspezifisch zu übertragen.

Im geplanten System wird dies benutzt, um einem Zug den Fahrweg eindeutig mitzuteilen. Es kann somit auf die "Repositioning"-Funktion verzichtet werden, was die Komplexität der ETCS-Projektierung deutlich reduziert und die Interoperabilität mit verschiedenartigem Rollmaterial verbessert.

Über die eindeutige Fahrstraßeninformation kann ebenfalls ein fahrstraßenscharfes Geschwindigkeits- und Neigungsprofil übermittelt werden. Somit kann zum Beispiel im Bahnhof die Geschwindigkeit erst ab der ersten, tatsächlich im abzweigenden Strang befahrenen Weiche reduziert werden und nach dem Passieren der Letzten sofort wieder erhöht werden.

Über Bedienhandlungen des Fahrdienstleiters am Stellwerk können situationsabhängig Zusatzinformationen in die Balisen geladen oder telegrams will be directly determined and controlled by the interlocking. As such, the interface to the lamp circuit can be abandoned, as shown in fig. 2.

Centralised balise control is different from the centralised LEU available on the market today. A centralised LEU uses signal aspect information from the interlocking system to control the switchable balises from a central location. However, a centralised LEU is unable to provide the full range of functionality described below.

The direct link between the interlocking and the ETCS opens up new technical and operational possibilities which allow the provision of functionality which is close to that of a Level 2

#### 2.1 The extended command set

In the classic ETCS Level 1 system with signal tapping, the ETCS messages are a function of the displayed signal aspect. A LEU contains as many different telegrams as the signal is able to display aspects.

The spectrum of possible commands is therefore limited by the existing signalling system. In addition, a signal aspect does not always identify a train route unambiguously.

The centralised balise control decouples the ETCS telegrams from the signal aspects and allows the formulation of a wide range of commands depending on the internal states of the interlocking system. This offers more freedom and flexibility to transmit specific route and track data.

This possibility is used by the planned system, which transmits unambiguous route information to the train. The use of the repositioning function is no longer necessary, which significantly reduces the complexity of the ETCS engineering data and improves the interoperability with heterogeneous rolling

The unequivocal route information allows the transmission of route-specific speed and gradient profiles. This means a route-specific speed reduction can now become effective right at the location of the first point switch passed in the diverging branch and lifted after the last point switch passed in the diverging branch.

Using specific control actions, the signalling operator is able to load or remove specific additional information into balises,

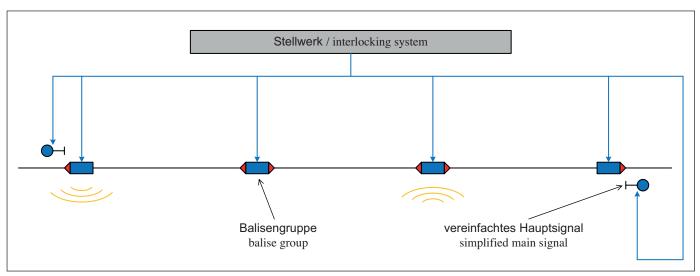


Bild 2: ETCS Level 1 – geplantes System Fig. 2: ETCS Level 1 – intended implementation

SIGNAL + DRAHT (110) 10/2018



entfernt werden. Dies wird benutzt um im Betrieb Langsamfahrstellen über eine Fahrterlaubnis zu blenden (siehe Abschnitt 4.1) und um Signale in den Baustellenmodus (siehe Abschnitt 4.2) zu schalten.

#### 2.2 Schnelle Programmierung von Projektierungsänderungen

Die ETCS-Projektierung ist im Sicherungsmodul des Stellwerks hinterlegt und Telegramme werden je nach Situation und Bedarf in die entsprechenden Balisen geladen. Die ETCS-Projektierung ist somit als Teil der Stellwerkprojektierung anzusehen und wird gemeinsam, auf dem gleichen Datenträger, ausgeliefert.

Somit ist erstens gesichert, dass die Projektierungen von ETCS und Stellwerk immer aufeinander abgestimmt sind.

Zweitens entfällt so die zeit- und personalintensive Programmierung von einzelnen LEU im Feld, die sich insbesondere durch die geografische Verteilung der LEU und durch das hohe Maß an Verkettung zwischen den Balisengruppen ergibt.

Es müssen lediglich die Festdatenbalisen noch im Feld per Hand programmiert werden. Um auch hier die Programmierarbeit bei Umprojektierungen auf ein Minimum zu reduzieren, werden in Festdatenbalisen bevorzugt konstante Streckenparameter, wie beispielsweise das Neigungsprofil projektiert.

### 2.3 Rückkanal

Die direkte Verbindung von Stellwerk und Balisen erzeugt einen Rückkanal vom ETCS-System zum Stellwerk, welcher in einem klassischen Level 1 System nicht, oder zum Teil nur sehr einge-

In einem ersten Schritt wird diese Möglichkeit genutzt um Fehler oder Störungen zu melden und entsprechende Sicherheitsreaktionen auszulösen. So können Ausfälle in den Balisentreibern oder Verbindungsprobleme an der C-Schnittstelle (Balisenkabel) vom Stellwerk erkannt und an Fahrdienstleiter und Instandhaltung weitergereicht werden. Das Stellwerk kann auch eine automatische Sicherheitsreaktion ausführen, zum Beispiel die betroffenen Signale auf Halt stellen.

Im gegenwärtigen System ETCS der CFL können solche Fehler und Störungen nur durch einen vorbeifahrenden Zug offenbart werden, welcher je nach Fall dann eine Zwangsbremsung erhält.

#### 3 Vereinfachte Außensignalisierung

Durch die zentrale Steuerung der schaltbaren Balisen entfällt die Abhängigkeit der ETCS-Nachrichten von der Außensignalisierung. Alle relevanten Zugbefehle werden auch im gegenwärtigen ETCS-System der CFL bereits durch Kabinensignale auf dem Driver Machine Interface (DMI) abgebildet. Eine Signalgebung auf der Strecke ist somit nur noch in bestimmten betrieblichen Situationen notwendig, in denen die Kabinensignalisierung nicht wirksam ist.

Dies erlaubt es die Außensignalisierung und somit die Anzahl der streckenseitigen Anlagen zu reduzieren. Vorsignale, Wiederholer und Zusatzanzeiger werden abgeschafft, sowie eine Reihe nicht mehr notwendiger Signaltafeln. Da heute vorschriftsmäßig bereits nach Kabinensignalisierung gefahren wird, ist der hierzu notwendige Migrationsschritt vergleichsweise überschaubar. Einzig die Widerspruchsfreiheit zur bestehenden Außensignalisierung muss gegeben sein.

Für das geplante System bleibt schlussendlich ein einziges, signaltechnisch sicheres Lichtsignal übrig. Dieses Lichtsignal bildet zwei unterschiedliche, betrieblichen Signale ab und ist mit zwei Lichtpunkten versehen, welche zur Signalisierung aller benötigten Befehle ausreichen.

### 3.1 Sperrsignal

Das Sperrsignal SFVb (frz.: signal fixe de barrage) ist das hochwertigste Signal in der CFL-Signalhierarchie. Der Haltbegriff (SFVb1,

depending on the current operational situation. This is used to overlap the fixed speed profile in a movement authority with information on temporary speed restrictions (cf. paragraph 4.1) or to switch signals into the worksite operations mode (cf. paragraph 4.2).

### 2.2 The fast loading of new engineering data

The ETCS engineering data is saved in the interlocking's safe memory and the telegrams are loaded into balises according to the situation's current needs. The ETCS engineering data is therefore considered to be part of the interlocking's engineering data and it is delivered on the same storage medium.

Firstly, this ensures that the ETCS and interlocking engineering data are always synchronised.

Secondly, this avoids any tedious and time-consuming programming work on the LEU in the field. Nowadays, LEU programming is a limiting element for entering new engineering data into service, because of the large geographical distances between the LEU and the high amount of linkage between the balise groups.

In the planned system, only the fixed data balises will need to be programmed by hand. Additionally, only constant track data such as gradient profiles should be engineered into fixed data balises in order to limit the amount of manual work.

#### 2.3 The return channel

The direct link between the interlocking and the balises creates a return channel from the ETCS system to the interlocking system which is not available or is only available in a very limited manner in the classic Level 1 architecture.

This possibility is first used to report disturbances or failures and to trigger appropriate safety reactions. As such, failures in the balise drivers or connexion problems on the "C" interface (balise cable) can be detected by the interlocking system and forwarded to the operator or the maintenance team. The interlocking can execute automatic safety routines, such as placing the appropriate signals at stop.

Any such disturbances or failures in CFL's current ETCS system can only be revealed by a passing train, which may suffer a forced service brake as a consequence.

## 3 Simplified lineside signalling

The dependency between the lineside signal aspect and the ETCS messages will become obsolete with the introduction of centralised balise control. All relevant train commands are already currently transmitted as cabin signals to the Driver Machine Interface (DMI). Lineside signalling is therefore only required in specific operational situations, where the cabin signalling is not active.

This enables the reduction of the number of lineside signals and thus the number of trackside assets. Distant signals, repeaters and additional signals are eliminated, as are any obsolete signalling boards. The migration effort is easily manageable, given that the operational rules in Luxembourg already prescribe cabin signalling. Newly introduced signals are required to be consistent with the existing lineside signal-

CFL's simplified lineside signalling uses a single technically safe light signal. This signal is equipped with two light spots and maps onto two distinct operational signals. This is sufficient for signalling all the required operational commands.



Begriff 1 in Bild 3) gebietet Zug- und Rangierfahrten den Halt. Der Fahrtbegriff (SFVb2, Begriff 2 in Bild 3) erlaubt das Überfahren durch Zug- oder Rangierfahrten.

Im Allgemeinen wird der Rangierbetrieb über Sperrsignale abgewickelt. Zusätzlich kann ein Sperrsignal Lichtflankenschutz für Züge

Da das Lichtsignal der vereinfachten Außensignalisierung dem heutigen Sperrsignal bereits entspricht, ist dieses von der Änderung nicht betroffen und behält seine ursprüngliche Bedeutung und Aussehen. Dies bedeutet, dass auch der Rangierbetrieb von der Einführung der vereinfachten Außensignalisierung nicht betroffen ist.

#### 3.2 Freigabesignal

Das neu eingeführte Freigabesignal SFA (frz.: signal fixe d'autorisation) ersetzt das heutige Hauptsignal und dient dazu, bei neu beginnenden Zugfahrten, bei haltenden Zügen ohne Fahrterlaubnis oder bei Zügen in Entlassungsgeschwindigkeit, dem Triebfahrzeugführer eines Zuges die Aufforderung zu Annährung und Befahren der nächsten Balisengruppe zu geben und somit in die Betriebsart FS, d.h. in die Kabinensignalisierung, zu wechseln. Zusätzlich erlaubt das Freigabesignal einem Zug mit gestörter ETCS-Bordeinrichtung rudimentäre Zugbefehle zu geben.

Das Erscheinungsbild des Freigabesignals ist dem des Sperrsignals gleich; es handelt sich technisch gesehen um das gleiche Lichtsignal. Im Gegensatz zum reinen Sperrsignal wird das SFA als hohes Lichtsignal ausgeführt und mit einer ETCS-Halttafel gekennzeichnet. Analog zur heutigen Kombination von Haupt- und Sperrsignal an einem Mast, kann auch ein Freigabesignal mit einem Sperrsignal kombiniert werden. Bild 4 zeigt einen Vergleich zwischen einem kombinierten Haupt-/Vorsignal und seiner vereinfachten Entsprechung im geplanten System.

Das Freigabesignal kennt drei Begriffe, wobei ein vierter Begriff den Störungsfall darstellt (Bild 3):

- Begriff 1 (SFA1): Halt für Züge
- Begriff 2 (SFA2): Fahrtfreigabe für einen Zug
- Begriff 3 (SFA3): Baustellenbetrieb
- · Begriff 4: Signalstörung.

#### 3.3 Abfahrtsmelder

Aufgrund des Verzichts auf Vorsignale und Wiederholer kann es vorkommen, dass ein Freigabesignal für den auf einen Haltepunkt folgenden Streckenabschnitt für den Zugführer nicht ersichtlich ist. Da im Personenverkehr die Abfahrtserlaubnis am Haltepunkt erst bei fahrtzeigendem Signal erteilt werden kann, wird in solchen Fällen ein Abfahrtsmelder SFID (frz.: signal fixe indicateur de départ, Bild 5) eingesetzt. Dieser Abfahrtsmelder dient ausschließlich zur komfortablen Abwicklung von Zugfahrten am Bahnsteig und erfüllt keine Sicherungsaufgabe. Der Abfahrtsmelder ist also kein signaltechnisch sicheres Lichtsignal.

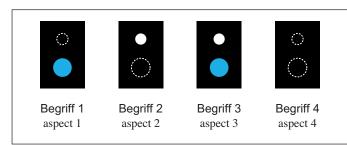


Bild 3: Lichtsignal der vereinfachten CFL-Außensignalisierung Fig. 3: Light signal for the simplified CFL lineside signalling

### 3.1 The shunting signal

The shunting signal SFVb (French: signal fixe de barrage) is the most significant signal in the CFL signal hierarchy. The stop aspect (SFVb1, aspect 1 in fig. 3) commands trains and shunting movements to halt. The clear aspect (SFVb2, aspect 2 in fig. 3) allows a train or shunting movement to pass the signal.

In general, shunting operations are handled using shunting signals. They can also offer flank protection for trains.

The shunting signal is the same for conventional CFL and simplified lineside signalling and it maintains its original meaning and appearance. The shunting signal is therefore not affected by the change. As a consequence, shunting operations in general remain unaltered by the introduction of the simplified lineside signalling.

#### 3.2 The authorisation signal

The newly introduced authorisation signal SFA (French: signal fixe d'autorisation) replaces the current main signals and is used to order the driver of a starting train, a stopped train without a movement authority or a train in release speed to approach and pass the signal and the associated balise group in order to enter the FS operational mode (i. e. cabin signalling). It is also used to command a train with degraded onboard equipment.

The authorisation signal appears the same as the shunting signal, as it is technically the same light signal. The authorisation signal is distinguished by a high signal mast with an ETCS stop marker. Like the contemporary combination of main and shunting signals, both authorisation and shunting signals can be combined into a single signal. Fig. 4 shows a comparison between a combined main/distant signal and its simplified equivalent in the planned system.

The authorisation signal can display three aspects, while a fourth describes a failure state (fig. 3):

- Aspect 1 (SFA1): Stop for trains
- Aspect 2 (SFA2): Authorisation for a train
- Aspect 3 (SFA3): Worksite mode
- Aspect 4: Signal failure.

#### 3.3 The departure indicator

Without distant or repeater signals at a station, the authorisation signal may not be visible to the train guard on the platform. As operational rules require signal clearance before departure, an SFID departure indicator (French: signal fixe indicateur de départ, fig. 5) will be introduced to assist the train guard in this task.

This departure indicator is an auxiliary signal which eases the performance of passenger operations. It does not assume a safety relevant role and is therefore not designed as a technically safe light signal.

#### 3.4 Train operations using the authorisation signal

As cabin signalling is only active in Full Supervision mode, the authorisation signal handles all operational situations in which a train is not yet in this mode. The three following scenarios can be highlighted:

• A starting train begins in the Staff Responsible (SR) operating mode. The authorisation signal orders the train in SR to start its running and to pass the signal. When the signal is approached, the associated balise group transmits a movement authority which allows the train to switch into FS.



speed indicator	Geschwindigkeits- anzeiger	Bild 4: Herkömmliche (links) gegen vereinfachte (rechts) Außensignalisierung Fig. 4: Conventional (left) compared to simplified (right)	
combined main and shunting signal	Kombiniertes Hauptsignal mit Sperrsignal	lineside signalling	
distant signal	Vorsignal	combined authorization and shunting signal	Kombiniertes Freigabesignal mit Sperrsignal
distant speed indicator	Geschwindigkeis- voranzeiger	ETCS stop marker	ETCS-Halttafel
wrong-line signal	Gleiswechsel- anzeiger		
combined signal's marker board	Mastblech des kombinierten Signals	shunting signal's marker board	Mastblech des Sperrsignals

### 3.4 Zugbetrieb mit dem Freigabesignal

Da die Kabinensignalisierung nur in der Betriebsart FS wirksam ist, ist es die Aufgabe des Freigabesignals diejenigen betrieblichen Situationen zu regeln in denen der Zug diese Betriebsart noch nicht erreicht hat. Hier sind insbesondere drei Szenarien hervorzuheben:

- · Ein startender Zug befindet sich immer in der Betriebsart Staff Responsible (SR). Das Freigabesignal erteilt dem Fahrzeug in SR den Befehl die Zugfahrt zu starten und das Signal zu überfah-
- · When a train approaches the end of its movement authority, the braking curve forces it into release speed. The train driver has to observe the authorisation signal's commands in release speed. The signal clears, as soon as an updated movement authority is available in the associated balise group.
- While running at sight (i.e. with an isolated ETCS on-board unit), the authorisation signal allows rudimentary train operation without written orders.





Bild 5: Abfahrtsmelder (SFID) der CFL Fig. 5: CFL departure indicator (SFID)

ren. Bei Überfahrt der am Signal platzierten Balisengruppe erhält das Fahrzeug eine Fahrterlaubnis und setzt seine Fahrt in der Betriebsart ES fort.

- · Nähert sich der fahrende Zug dem Ende seiner Fahrterlaubnis, zwingt ihn die Bremskurve in die Entlassungsgeschwindigkeit (Release Speed). In Entlassungsgeschwindigkeit muss der Triebfahrzeugführer vor dem haltzeigenden Signal stehen bleiben. Der Freigabebegriff zeigt ihm an, dass er seine Fahrt fortsetzen kann und die Balisengruppe am Signal eine Fahrterlaubnis ent-
- Bei Fahrten auf Sicht (z.B. bei isoliertem ETCS-Onboard-Gerät) erlaubt das Freigabesignal eine eingeschränkte Betriebsführung ohne auf schriftliche Befehle zurückgreifen zu müssen.

#### 3.5 Signalstörung

Im aktuellen ETCS-System der CFL bedingt eine Hauptsignalstörung, dass auch die entsprechenden Balisen den Halt befehlen. Da im geplanten System Signalbegriff und ETCS-Nachrichten unabhängig voneinander sind, kann der Fahrdienstleiter, wenn alle restlichen Fahrstraßenbedingungen erfüllt sind, per Bedienbefehl die Fahrterlaubnis in die Balisen laden. Nach Erhalt eines schriftlichen Befehls kann der Triebfahrzeugführer das gestörte Freigabesignal mit dem Befehl Override passieren und erhält bei der Überfahrt eine gültige Fahrterlaubnis für den Abschnitt.

Da bei ETCS Level 1 eine Informationsübertragung nur an ortsdiskreten Punkten auf der Strecke stattfinden kann, ist deren Platzierung, insbesondere die der Infill-Punkte, ausschlaggebend für die Leistungsfähigkeit der Strecke.

Aufgabe der Infill-Punkte ist es, dem Zug mit gültiger Fahrterlaubnis im aktuellen Abschnitt die Fahrterlaubnis für den Folgeabschnitt zu erteilen. Um unnötige Bremsankündigungen zu vermeiden und den sich dadurch ergebenden, leistungsmindernden Sägezahneffekt in der Geschwindigkeitskurve zu verhindern, müssen die Infill-Punkte in einer zweckdienlichen Distanz zum Ende der Fahrterlaubnis (d. h. dem folgenden Freigabesignal) verlegt werden.

Die Distanz zwischen Infill-Punkt und dem Signal muss also mindestens so groß sein wie der längstmögliche Bremsweg der Züge die die Strecke befahren. Die optimale Infill-Position ist also nicht nur von den Streckenparametern, sondern auch vom Rollmaterial abhängig und soll an dieses optimal angepasst sein. Jeder zusätzliche Infill-Punkt entspricht einem Freiheitsgrad zur Anpassung an eine Zugart. Da aus wirtschaftlichen Gründen die Anzahl nicht beliebig erhöht werden kann, sind hier gewisse Annäherungen erforderlich. Damit die Aufwertung der Fahrterlaubnis zu dem Zeitpunkt geschieht, an dem der Zug den Infill-Punkt überquert, muss die Zuglenkung die jeweilige Infill-Distanz, wie vormals die Vorsignale, berücksichtigen. Für den optimalen Betriebsablauf muss also auch der Folgeabschnitt zu diesem Zeitpunkt bereits frei sein. Folglich kann bei großen Infill-Distanzen die Leistungsfähigkeit der Strecke sinken.

## 3.5 Signal failure

A main signal failure in CFL's current ETCS system leads to a stop command in the associated balise group.

If all the remaining route conditions are verified, the signalling operator can load a valid movement authority into the balises, as the planned system decouples the ETCS messages from the signal aspects. The operator then emits a written order to the train driver, allowing the driver to pass the failed signal with the ETCS override function. When approaching the signal, the train passes the balise group and receives a valid movement authority to continue running.

#### 3.6 Infill

ETCS Level 1 only allows information transmission at discrete track locations. The well-chosen positioning of these locations, especially that of the infill-points, is crucial for a line's

Infill-points update the movement authority of a running train with information for the section ahead. In order to avoid unnecessary brake indications and to prevent undesired saw tooth effects in the train's speed curve, infill points have to be placed at an appropriate distance from the end of the movement authority (i. e. the following authorisation signal ahead). The distance between the infill point and the signal must therefore be at least as large as the longest possible braking distance of the trains running on the line. As such the optimal infill position is not only dependent on the track parameters, but also on the rolling stock and it should be optimally adapted to it. Every additional infill point provides a degree of freedom for matching another train type. Given that the number of infill points cannot be arbitrarily increased on economic grounds, some approximations are required.

The automatic route setting system has to consider the infill-positions, as it did with distant signals in the past, for the movement authority's renewal to be effective when the train passes the infill-balise group. The optimal operational flow requires the section ahead to also be free at that moment. Excessively large infill distances can therefore reduce a line's performance.

In the end, the objective is to find a balance between short infill-distances with efficient line usage and long infill-distances which avoid unnecessary braking.

Each main and distant signal in the CFL's current ETCS implementation has an infill-point, which yields three effective infill-points per main signal in total (fig. 1). This has been proven to be sufficient and will be maintained in the planned system. However, the infill-points can now be placed entirely freely as the distant signals are removed.

The basis for the calculation of optimal infill positions is the standardised braking model from ETCS Baseline 3, for which CFL-specific correction values (so called K-factors) have been applied. Line 1 is a mixed-traffic line with a large proportion of passenger trains and some occasional freight trains. The calculation assumes two train models:

- a freight train with minimal braking performance
- a passenger train with a nominal length and good braking performance. The rolling stock composition for the following years is known, such that the train model represents the expected traffic quite well.

The first infill point encountered in the running direction is set for freight trains. It is placed at the permission-point P<sub>G</sub> of the train model's braking curve.



Schlussendlich gilt es, ein Gleichgewicht zu finden zwischen kurzen Infill-Distanzen, die eine effiziente Streckennutzung ermöglichen, und langen Infill-Distanzen, welche ein unnötiges Abbremsen des Zuges vermeiden.

Im herkömmlichen System verwenden die CFL für jedes Haupt- und Vorsignal einen Infill-Punkt, was in Summe effektiv drei Infill-Punkte pro Hauptsignal ergibt (Bild 1). Dies hat sich bewährt und wird im geplanten System beibehalten. Da jedoch die Vorsignale verschwinden, können die Infill-Balisen nun komplett frei platziert werden.

Grundlage für die Berechnung der Infill-Positionen ist das standardisierte Bremsmodel der ETCS Baseline 3, wobei die Korrekturwerte (d. h. die ETCS K-Faktoren) der CFL angewandt werden. Der Verkehr auf der Linie 1 besteht vorwiegend aus Personenzügen gemischt mit vereinzelten Güterzügen. Zur Berechnung der Infill-Distanzen werden also zwei Modelzüge herangezogen:

- Ein Güterzug mit vorschriftsmäßig minimaler Bremsleistung
- Ein nominell zu erwartender Personenzug. Da die Zusammensetzung der Personenzüge für die nächsten Jahre bekannt ist, entspricht der Modellzug recht genau dem tatsächlich auftretenden Verkehr.

Der in Fahrtrichtung zuerst überfahrene Infill-Punkt ist für die Güterzüge bestimmt. Dieser liegt am Permission-Punkt P<sub>G</sub> des Modell-Güterzuges.

Der folgende Infill-Punkt liegt auf dem Indication-Punkt I₀ des Modell-Personenzuges.

Der letzte Infill-Punkt gilt als verspätete Aufwertung der Fahrterlaubnis, falls aus betriebliche Gründen die Fahrterlaubnis am vorgelagerten Infill-Punkt noch nicht erteilt werden konnte. Es soll so ein Abbremsen in die Entlassungsgeschwindigkeit verhindert werden. Die Infill-Distanz wird so festgelegt, dass der mittlere Zeitverlust für den Modell-Personenzug bei verpasster Aufwertung minimiert wird.

### 4 Zusätzliche betriebliche Funktionen

Zusätzlich zur Reduzierung der streckenseitigen Signalanlagen ermöglicht das erweiterte ETCS-Befehlsvokabular weitere betriebsunterstützende Funktionen. In einem ersten Schritt sind dynamisch einlegbare Langsamfahrstellen sowie ein Baustellenmodus für die Freigabesignale vorgesehen.

#### 4.1 Dynamische Langsamfahrstellen

Über die schaltbaren Balisen werden einem fahrenden Zug Informationen über Langsamfahrstellen mitgeteilt. Die Langsamfahrstellen werden vom Fahrdienstleiter auf der Bedienoberfläche des Stellwerkes zur Laufzeit aktiviert und an die schaltbaren Balisen übermittelt. Hierbei werden zwei Arten von Langsamfahrstellen unterschieden: vordefinierte und projektierte Langsamfahrstellen.

Vordefinierte Langsamfahrstellen sind Teil der festen ETCS-Projektierung und ermöglichen es dem Fahrdienstleiter, jederzeit die Geschwindigkeit von Fahrstraßen über Gleismerker zu reduzieren. Dieser Geschwindigkeitsmerker gebietet dem ETCS-System das Geschwindigkeitsprofil aller Fahrstraßen, die den betroffenen Gleisabschnitt beanspruchen, zu reduzieren. Die CFL sehen drei Geschwindigkeitsstufen für vordefinierte Langsamfahrstellen vor. Projektierte Langsamfahrstellen werden im Gegensatz hierzu im Vorfeld von der Baustellen- oder Sicherungsaufsicht beauftragt und vom LST-Planungsbüro projektiert. Projektierte Langsamfahrstellen bieten eine größere Flexibilität, was Beginn und Ende der Langsamfahrstelle betrifft, und können komplexere Situationen abbilden. Sie benötigen dazu allerdings etwas Vorlaufzeit.

Projektierte Langsamfahrstellen werden mit einem speziellen Projektierungswerkzeug erstellt und nach der Planungsfreigabe

The following infill point is placed at the indication-point I<sub>p</sub> of the passenger train model.

The last infill point provides a late update of the movement authority for situations where operational reasons have prevented the issuing of the authority at the last infill point to the rear. This should prevent the train from decelerating into release speed. The infill distance is chosen so that the average time loss for the passenger train model is minimised, if the second infill is missed.

### 4 Additional operational functionality

In addition to the reduction of track-side signals, the extended command set also allows further supportive operational functionality. Dynamically loadable speed restrictions and a worksite mode for authorisation signals are introduced as a first step.

#### 4.1 Dynamically loadable speed restrictions

Switchable balises are used to transmit information on temporary speed restrictions to the trains. These speed restrictions can be activated at runtime by the signalling operator on his control terminal and are then loaded into the balises.

Two types of temporary speed restrictions are identified: predefined and engineered speed restrictions.

Predefined speed restrictions are part of the fixed ETCS engineering data and allow the operator to adapt the speed of a train route at any time using a special reminder.

This speed reminder commands the ETCS system to reduce the speed for all train routes using the route element upon which it is placed. CFL foresee three predefined speed levels for predefined speed restrictions.

Engineered speed restrictions are ordered in advance by the worksite or safety authority and are planned by the CCS planning department. On the one hand, engineered speed restrictions offer more flexibility concerning the beginning and end-

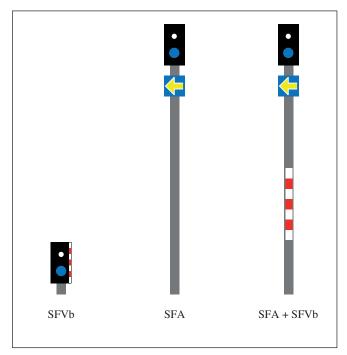


Bild 6: Sperrsignal (links), Freigabesignal (mitte), kombiniertes Signal (rechts)

Fig. 6: Shunting signal (left), authorization signal (centre), combined signal (right)

in das Stellwerk geladen. Der Fahrdienstleiter wird dann zur Planzeit aufgefordert, die gegebene Langsamfahrstelle einzuschalten. Beide Arten von Langsamfahrstellen werden vom ETCS-System in das Geschwindigkeitsprofil der Fahrstraßen integriert und sind für den Triebfahrzeugführer vollständig transparent.

#### 4.2 Baustellenmodus

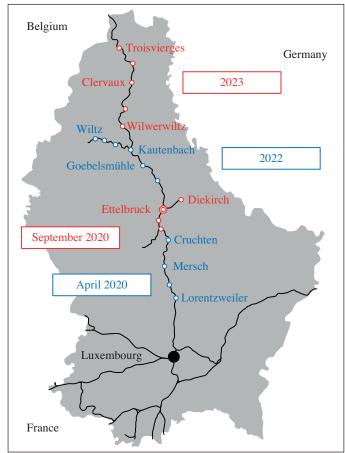
Fahrten in Arbeitsgleisen werden bei den CFL über Rangierbewegungen abgebildet und verkehren in der Betriebsart Shunting (SH). In Arbeitsgleisen werden keine Fahrten gestellt, weswegen die Signale alle Halt zeigen.

Um den betrieblichen Ablauf im Arbeitsgleis zu vereinfachen, können die Freigabesignale innerhalb eines Arbeitsgleises in den Baustellenmodus versetzt werden. In diesem Fall zeigt das Signal einen hochenergetischen Begriff (Begriff 3 in Bild 3) und die schaltbaren Balisen am Fuß des Signals werden inaktiv geschaltet. So können Arbeitsfahrzeuge das Signal auch ohne vorhergehende Fahrtstellung ungehindert passieren.

#### 5 Ausrüstungsprojekt

Da das vorgeschlagene System eine integrierte Lösung darstellt, kann es nicht wie ein klassisches ETCS Level 1-System auf vorhandene Stellwerke angewandt, sondern nur im Zuge eines Neubaus der Signaltechnik umgesetzt werden. Im Rahmen eines solchen Neubauprojektes der Stellwerke auf der Linie 1 des Luxemburgischen Eisenbahnnetzes wird erstmals das beschriebene System eingesetzt.

Aktuell werden die elf Bahnhöfe der Linie 1 mit Spurplan-Drucktastenstellwerken der Firma SEL (SpDrL60) betrieben. Die Signale wurden



**Bild 7: Projektverlauf und Streckenübersicht** Fig. 7: Project progression and line overview

ing of the restriction and more complex situations can be modelled. On the other hand, they require more preparation time than the predefined ones.

Engineered speed restrictions are created using a special planning tool. Once the plans have been approved, they are loaded into the interlocking system. The signalling operator will then be requested to activate the restriction at the defined time. Both types of speed restrictions have been integrated into the speed profile of the concerned train routes by the ETCS system. The train driver is not made explicitly aware of them.

#### 4.2 The worksite mode

Vehicle movements in working areas are handled in the same way as shunting movements and circulate in shunting mode (SH). No train or shunting routes are set in working areas and all signals are set at stop.

The authorisation signals inside the working areas can be placed in the worksite mode in order to simplify the operational procedures. A signal in the worksite mode shows a high-energy aspect (aspect 3 in fig. 3) and the associated switchable balises are deactivated. As such, all vehicles can circulate freely inside the working area without any previous route setting.

#### 5 The installation project

As the planned system consists of an integrated solution, it cannot be applied on existing interlocking systems like a traditional Level 1 system. The described system will be introduced for the first time within the framework of the complete replacement of the signalling boxes on line 1 of the Luxembourg railway network.

Currently all eleven stations on line 1 are equipped with relay-based interlocking technology from the supplier, SEL (SpDrL60). The signals were equipped with CFL's ETCS Level 1 system in 2002. The centralised traffic control centre in Ettelbruck operates and supervises all other stations. Fig. 7 shows an overview of the line.

The upgrade will start in 2020 as a pilot project under real operating conditions on the southern section of the line with the Lorentzweiler, Mersch and Cruchten stations. After evaluating the initial experiences, the Ettelbruck and Diekirch stations will be upgraded in the second step. Large infrastructure projects in Mersch and Ettelbruck also require a parallel redesign of the track layout.

The pilot will be concluded after an interval of one year and the evaluation and processing of the acquired experience and the last two upgrade stages will be realised on the northern section of the line in 2022 and 2023.

The new system will also be centrally operated from Ettelbruck, whereas the possibility of local operation will also be maintained at a selected number of stations.

#### **5.1** The system details

The German supplier Scheidt & Bachmann qualified as a bidder in the European tender in 2017 and was awarded the contract for the upgrade in June 2018.

The combined ETCS-interlocking system is based on the ZSB2000 interlocking system produced by Scheidt & Bachmann, which will be modified in order to fulfil CFL's requirements. Some further operational and technical particularities will also be introduced in addition to the functionality described above.



2002 mit dem ETCS Level 1-System der CFL ausgerüstet. Die Fernsteuerzentrale in Ettelbruck bedient und überwacht dabei die übrigen Bahnhöfe. Bild 7 zeigt eine Streckenübersicht.

Der Neubau beginnt 2020 als Pilotprojekt unter Sicherheitsverantwortung auf dem südlichen Teil der Strecke mit den Betriebsstellen Lorentzweiler, Mersch und Cruchten. Nach einer Auswertung der ersten Erfahrungen geht es weiter mit dem Umbau der Bahnhöfe Ettelbruck und Diekirch. Große Infrastrukturbauprojekte in Mersch und Ettelbruck erfordern zudem die Neugestaltung des Gleisbildes.

Nach einer einjährigen Pause und der Auswertung und Einarbeitung des Erfahrungsrücklaufs aus dem Pilotbetrieb werden 2022 und 2023 die letzten beiden Bauabschnitte auf dem nördlichen Teil der Strecke realisiert.

Dabei wird das neue System ebenfalls von Ettelbruck aus ferngesteuert, wobei ausgewählte Betriebsstellen auch lokal bedient werden können.

#### 5.1 Details zum System

Im Rahmen einer europäischen Ausschreibung im Jahr 2017 qualifizierte sich die Scheidt & Bachmann GmbH und erhielt im Juni 2018 den Zuschlag für das Neubauprojekt.

Das kombinierte ETCS-Stellwerksystem basiert auf dem ZSB2000 Stellwerk von Scheidt & Bachmann das im Rahmen des Projektes modifiziert wird um den Anforderungen der CFL gerecht zu werden. Zusätzlich zu den oben beschriebenen Funktionalitäten zum Signalsystem und ETCS werden weitere betriebliche und technische Besonderheiten eingeführt.

Der Neubau der Signaltechnik auf der Linie 1 ist das erste Projekt der CFL bei dem die standardisierten EULYNX-Schnittstellen zwiThe upgrade of the signalling technology on line 1 is CFL's first project in which standardised EULYNX interfaces between the interlocking system and its field components are to be used. The standardised line block (SCI-ILS) and the interface to the level crossing (SCI-LX) will be introduced to the Luxembourg network in the present project.

In addition to the overhead line protection groups, which can be tagged with special reminders in order to protect any work under disengaged catenary lines, the elementary protection zones (ZEP, French: zones élémentaires de protection) are now supported by the interlocking system. An elementary protection zone is the smallest grouping of track elements which can be protected in an operationally meaningful way. Reminders for blocked lines, working areas or areas out of service are placed exclusively onto ZEP.

### 5.2 Migration

The planned system allows relatively easy migration within a short operational stoppage for commissioning.

As the authorisation signals are smaller than the main signals on the line, these can be installed in front of the latter without any visibility constraints. Only the barring crosses have to be moved from the new signals to the old ones in order to commission the new system.

Axle counters and balises can also be installed in advance, whereby the latter are neutralised with metal covers. Here too, the metal covers will be moved from the new to the old balises when the system is commissioned. The old balises can be dismounted and reused in the following replacement stages.



schen Stellwerk und den Außenanlagen eingesetzt werden. Im vorliegenden Projekt werden der standardisierte Streckenblock (SCI-ILS) und die standardisierte Schnittstelle zum Bahnübergang (SCI-LX) auf dem Luxemburgischen Netz eingeführt.

Neben den Oberleitungsschaltgruppen, die zum Schutz von Arbeiten bei abgeschalteter Oberleitung mit speziellen Merkern versehen werden können, werden die elementaren Schutzzonen (kurz ZEP, frz.: zones élémentaires de protection) nun vom Stellwerk aus unterstützt. Eine elementare Schutzzone ist der kleinste, betrieblich sinnvoll zu schützende Zusammenschluss von Gleiselementen und Weichen. Merker für gesperrte Gleise, Arbeitsgleise oder Gleise außer Betrieb werden ausschließlich auf ZEP angewandt.

#### 5.2 Migration

Das geplante System erlaubt eine relativ einfache Migration mit nur kurzzeitigem Betriebsausfall bei der Inbetriebnahme.

Da die Freigabesignale kleiner sind als die herkömmlichen Hauptsignale können diese im Betrieb vor letztere aufgestellt werden ohne dabei die Sicht zu behindern. Bei der Inbetriebnahme müssen lediglich die Kreuze zur Kennzeichnung der Unwirksamkeit von den neuen auf die alten Signale aufgelegt werden.

Achszähler und Balisen können ebenfalls vorzeitig installiert werden, wobei letztere mit Metalldeckeln neutralisiert werden. Auch hier müssen am Tag der Inbetriebnahme die Deckel von den neuen auf die alten Balisen umgelegt werden. Nach der Inbetriebnahme können die alten Balisen abgebaut und bei den nachfolgenden Umbauten wiederverwendet werden.

Die Weichenantriebe und Bahnübergangsanlagen werden nicht erneuert. Die Verkabelung der Neuanlage erfolgt jeweils bis zum letzten Kabelverteiler oder Patchfeld. Bei der Inbetriebnahme müssen die Anschlüsse dann umgelegt werden.

Die beschriebene Vorgehensweise erleichtert nicht nur die Inbetriebnahme, sondern ermöglicht es ebenfalls, einzelne Bahnhöfe in Betriebspausen kurzzeitig zu Testzwecken in Betrieb zu nehmen

#### 6 Schlussfolgerung und Ausblick

Mit der Kombination von Stellwerk und ETCS Level 1 erweitern die CFL Funktionsumfang und Flexibilität ihres Signalsystems. Durch die gleichzeitige Reduzierung der Außenanlagen verringern sich gleichzeitig die Auf- und Umbaukosten.

Nach einer erfolgreichen Auswertung des Pilotprojektes auf der Linie 1 kann das System bei weiteren Neubauten verwendet und weiter ausgebaut werden.

Dabei stellt die Einführung der vereinfachten Außensignalisierung einen ersten Schritt einer Evolution dar, mit der die CFL den Betriebsablauf mittels moderner Technik verbessern möchten.

So bietet die zentrale Steuerung der Balisen zum Beispiel die Möglichkeit, ETCS-Übertragungspunkte bei fahrstraßenabhängiger Einschaltung in beiden Fahrtrichtungen zu nutzen, wie in Bild 2 angedeutet. Da Balisen so mehrfach verwendet werden können, besteht das Potenzial, auch deren Anzahl mittelfristig zu

Der Wegfall der Vorsignale ist für die CFL allerdings die wichtigste Errungenschaft im vorliegenden Projekt. Er ist die Voraussetzung zur weiteren Verringerung der Blockabstände und erlaubt es in Zukunft, die Leistungsfähigkeit der Strecken des Luxemburgischen Eisenbahnnetzes zu erhöhen.

Point machines and level crossings are not included in the renewal. New cabling will be installed up to the last distribution board or patch field close to the device. Both device types will then be rewired during an operational stoppage.

The described procedure not only eases the commissioning, but also permits a station to be quickly converted from the old system to the new one for testing purposes during short operational stoppages.

#### 6 Conclusion and prospects

By combining the interlocking system and ETCS Level 1, CFL will increase the functionality and flexibility of their signalling system. The parallel reduction of lineside signalling allows the minimisation of the costs for the upgrade and future

The system will also be able to be used in other upgrade projects on the Luxembourg network after the successful pilot evaluation on line 1.

The introduction of simplified lineside signalling is the first step in this evolution, in which CFL aspire to improve its operational performance using modern technology.

As hinted by fig. 2, centralised balise control allows the use of ETCS transmission points in both directions in principle by activating them on the basis of the set train routes. As this means that the same balise groups are reused for different purposes, their number could also be reduced in the future. The abolition of distant signals is the most important achievement in the presented CFL project. It is a prerequisite for fur-

ther reducing the block length and it allows substantial increases in the performance on the lines of the Luxembourg railway network.

### LITERATUR | LITERATURE

[1] ERTMS/ETCS System Requirements Specification SUBSET 026 der Baseline 2 (2.3.0, 24.02.2006) [für die ETCS-spezifischen Begriffe / for ETCS-specific vocabularyl

[2] ERTMS/ETCS System Requirements Specification SUBSET 026 der Baseline 3 (3.6.0, 13.05.2016) [für das standardisierte Bremsmodell / for the standardised braking model]

### **AUTOREN** | AUTHORS

#### **Lionel Arend**

Projektleiter Neubauprojekt Linie 1 / Project leader (line 1 signalling upgrade) E-Mail: lionel.arend@cfl.lu

#### **Laurent Pott**

Projektmitarbeiter, technische Analysen und PT1-Planung / Project team member (technical analyses and signalling planning) E-Mail: laurent.pott@cfl.lu

### Nico Hoffmann

Projektmitarbeiter, Umbau SpDrL60 und PT1-Planung / Project team member (signalling planning and matching to relay-based equipment) E-Mail: nico.hoffmann@cfl.lu

Projektmitarbeiter, ETCS-Anforderungen und Projektmanagement / Project team member (project management and ETCS requirements) E-Mail: ronny.schanck@cfl.lu

### Alle Autoren | all authors

Société Nationale des Chemins de Fer Luxembourgeois Anschrift / Address: 9, Place de la Gare, L-1616 Luxembourg

